

**UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID**  
**FACULTAD DE GEOGRAFÍA E HISTORIA**  
**Departamento de Prehistoria**



**ARQUEOASTRONOMÍA : EL ESPACIO CELESTE EN LA  
INTERPRETACIÓN ARQUEOLÓGICA**

**MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR  
PRESENTADA POR**

**Javier Mejuto González**

Bajo la dirección de las doctoras

María Luisa Cerdeño Serrano  
María de Gracia Rodríguez Caderot

**MADRID, 2013**





Departamento de Prehistoria  
Facultad de Geografía e Historia  
Universidad Complutense de Madrid

---

# **ARQUEOASTRONOMÍA: EL ESPACIO CELESTE EN LA INTERPRETACIÓN ARQUEOLÓGICA**

---

Tesis Doctoral

**Javier Mejuto González**



Facultad de Geografía e Historia  
Universidad Complutense de Madrid

Programa Oficial de Postgrado: Estudios Avanzados de Historia, Historia del Arte,  
Geografía y Música

# ARQUEOASTRONOMÍA: EL ESPACIO CELESTE EN LA INTERPRETACIÓN ARQUEOLÓGICA

*Memoria presentada por **Javier Mejuto González** en el  
Departamento de Prehistoria para optar al grado de Doctor  
por la Universidad Complutense de Madrid*

Vº Bº de las Directoras

**Dra. María Luisa Cerdeño Serrano**  
Facultad de Geografía e Historia

**Dra. María de Gracia Rodríguez Caderot**  
Facultad de Ciencias Matemáticas

En Madrid, a 11 de junio de 2013

# Índice general

---

|  |    |
|--|----|
| Índice general   | 3  |
| Agradecimientos  | 7  |
| Extended abstract  | 9  |
| <b>Capítulo 1.Introducción</b>   | 13 |
| <b>Capítulo 2.Historiografía</b>   | 19 |
| 2.1 Inicio y evolución de los estudios arqueoastronómicos . . . . .      | 19 |
| 2.2 Estudios arqueoastronómicos en España . . . . .                      | 30 |
| 2.3 Los estudios arqueoastronómicos en España durante el último lustro . | 33 |
| <b>Capítulo 3.Metodología</b>  | 37 |
| 3.1 Definiciones astrogeodésicas . . . . .                               | 38 |
| 3.1.1 Sistemas de Coordenadas Geodésicas . . . . .                       | 38 |
| 3.1.2 Geoide y Elipsoide . . . . .                                       | 40 |
| 3.1.3 Sistemas de Referencia . . . . .                                   | 43 |
| 3.1.4 Sistemas de Coordenadas Astronómicas . . . . .                     | 46 |
| 3.2 Determinación del acimut por métodos astrogeodésicos . . . . .       | 53 |

|   |  |           |
|---|--|-----------|
| 3.2.1   | Mediante observación a la Polar . . . . .  | 53        |
| 3.2.2   | Mediante observación al Sol . . . . .  | 58        |
| 3.3   | GNSS-Sistemas de Posicionamiento Global por Satélite . . . . .                           | 61        |
| 3.3.1   | Sistema GPS . . . . .  | 62        |
| 3.3.2   | Otros Sistemas de Posicionamiento Global por Satélite . . . . .                          | 64        |
| 3.3.3   | Funcionamiento, Observables y Errores GNSS . . . . .                                     | 69        |
| 3.3.4   | Potenciación de Sistemas de Posicionamiento Global por Satélite                          | 73        |
| 3.3.5   | Determinación del acimut por GNSS . . . . .  | 74        |
| 3.4   | Infraestructura de Datos Espaciales (IDE) . . . . .                                      | 77        |
| 3.4.1   | Sistemas de información Geográfica e Infraestructuras de Da-<br>tos Espaciales . . . . . | 77        |
| 3.4.2   | Servicios ofertados por una IDE . . . . .  | 79        |
| 3.4.3   | Componentes de una IDE . . . . .   | 82        |
| 3.4.4   | Las IDEs en los trabajos arqueoastronómicos . . . . .                                    | 83        |
| 3.4.5   | Representando Datos Astronómicos . . . . .   | 85        |
| 3.5   | Estudio metodológico comparativo . . . . .   | 88        |
| <b>Capítulo 4. Estudios arqueoastronómicos realizados</b> |  | <b>95</b> |
| 4.1   | Las necrópolis de incineración . . . . .   | 96        |
| 4.1.1   | La necrópolis celtibérica de Herrería . . . . .  | 98        |
| 4.1.2   | Otras necrópolis celtibéricas . . . . .  | 109       |
| 4.1.3   | Las necrópolis catalanas y aragonesas del Bronce Final . . . . .                         | 150       |
| 4.1.4   | Conclusiones . . . . .   | 170       |
| 4.2   | Castilmocho: Un posible santuario celtibérico . . . . .                                  | 177       |
| 4.2.1   | Descripción del yacimiento . . . . .   | 184       |
| 4.2.2   | Metodología utilizada . . . . .  | 195       |
| 4.2.3   | Estudio arqueoastronómico . . . . .  | 204       |

|   |   |         |
|---|---|---------|
| 4.3   | Recintos de Fosos Neolíticos . . . . .                                      | 214     |
| 4.3.1   | Recintos de Fosos en el Alentejo portugués . . . . .                        | 215     |
| 4.3.2   | Metodología . . . . .   | 217     |
| 4.3.3   | Resultados . . . . .  | 221     |
| 4.3.3.1                                       | Moreiros . . . . .  | 221     |
| 4.3.3.2                                       | Santa Vitória . . . . .   | 222     |
| 4.3.3.3                                       | Monte do Olival I . . . . .   | 223     |
| 4.3.3.4                                       | Outeiro Alto . . . . .  | 223     |
| 4.3.3.5                                       | Xancra . . . . .  | 223     |
| 4.3.3.6                                       | Perdigões . . . . .   | 224     |
| <br><b>Capítulo 5.Trabajos en preparación</b> |   | <br>235 |
| <br><b>Capítulo 6.Conclusiones</b>            |   | <br>243 |
| <br><b>Bibliografía</b>                       |   | <br>251 |
| <br><b>Anexo I</b>                            |   | <br>267 |
| A1  | Datos del estudio de las necrópolis del Bronce Final . . . . .              | 267     |
| A2  | Datos del levantamiento del santuario de Castilmocho . . . . .              | 272     |
| A3  | Resultado del análisis estadístico de los datos de las necrópolis . . . . . | 299     |
| A4  | Datos de la comparativa metodológica . . . . .                              | 338     |
| A4.1  | Cálculo del acimut de la Referencia . . . . .                               | 338     |
| A4.2  | Datos recogidos con el teodolito . . . . .                                  | 339     |
| A4.3  | Datos recogidos con la Estación Total . . . . .                             | 340     |
| A4.4  | Resultado de la corrección PPP GPS Monofrecuencia . . . . .                 | 341     |
| A4.5  | Datos recogidos con el receptor GPS Bifrecuencia . . . . .                  | 348     |

|   |     |
|---|-----|
| <b>Anexo II</b>   | 363 |
| A5 Software utilizado . . . . .   | 363 |
| A5.1 Software desarrollado . . . . .  | 363 |
| A5.2 Software propietario . . . . .   | 367 |
| A5.3 Software libre . . . . .   | 369 |
| <b>Anexo III</b>  | 397 |
| A6 Artículos publicados . . . . .   | 397 |
| A6.1 "GIS Techniques in Archaeology:An Archaeoastronomical Approach" . . . . .  | 397 |
| A6.2 "El "calendario celta" como fuente para el estudio de la cultura céltica, arqueoastronomía y etnohistoria" . . . . . | 415 |
| A6.3 "Estudio arqueoastronómico de la necrópolis Kerma de Abri-Amir 'Abdallah (Nubia sudanesa)" . . . . .                 | 433 |
| A6.4 "La metodología en los estudios arqueoastronómicos" . . . . .  | 442 |
| A6.5 "Astrokelttoi: an archaeoastronomical project in the Celtiberian area" . . . . .                                     | 463 |
| A6.6 "Trabajos geodésicos para la documentación y georreferenciación precisa de yacimientos arqueológicos" . . . . .      | 469 |

## Agradecimientos

---

Quiero agradecer a mis directoras de tesis Marisa y Gracia la confianza inicial que depositaron en mí para realizar esta tesis, desde aquella idea inicial en una de aquellas ferias Madrid por la Ciencia donde nos conocimos tantos. También quiero agradecer a todos aquellos que en algún momento compartieron mi viaje y mis ilusiones, a mis compañeros de la 506 y la 208. A todos mis compañeros de Físicas y de la especialidad en Astrofísica, muy especialmente a Omar, Judith y Nora, mis eternos compañeros. A mis sufridores colegas y compañeros de la Sección Departamental de Astronomía y Geodesia: Gonzalo, José Luis, Pablo, Maite, Roberto, María, Adriana y Bea. Gracias por compartir tantos cafés y comidas entre risas, agobios, tristezas y sueños, por compartir la vida en definitiva. A Tino y las antonias, gracias por darme de comer a cualquier hora y por vuestra amistad, vosotros sois los que hacen que funcione la Facultad de Matemáticas. Siempre estaré agradecido a Gema Rodríguez por el tiempo que pasamos preparando tantos geocaching y por apoyarme cuando lo necesité. A Pilar Romero por ser directora, compañera y amiga. Y, desde luego, a Miguel Herráiz por posibilitarme la entrada al mundo de la investigación.

Quiero agradecer a Gerardo Oleaga la disposición que tuvo siempre para ayudarme pese a tener esperando más trabajo que el que podía manejar, esos detalles solo están al alcance de las mejores personas. Por supuesto a mi amigo y compañero Antonio Brú, al que nunca podré agradecer lo suficiente el tiempo que pasamos peleando contra el mundo entre el tambor y Agustina de Aragón. Gracias por tu amistad y opinión que tanto valoro.

Me gustaría acordarme en estos momentos de mi cuadrilla, no hace falta decir nada, vosotros me visteis crecer. También de Gabriel y Miriam, compañeros de yacimientos, deseos, ilusiones y excursiones pero sobretudo amigos, aunque vuestros gestos van más allá de la amistad. Vosotros habéis compartido esta tesis de primera

mano, noche tras noche en La Galana. Hablando de La Galana no puedo olvidarme de Marina y Josan, mis amigos, gracias por compartir mis sueños y por devolverme la confianza en las personas. También quiero dar las gracias a Miki y Jorge, sin su confianza no estaría aquí, gracias hermanos. Quiero agradecer a Julián, el aizkolari incombustible, conocerle ha hecho que mi trabajo tenga sentido. Y, por supuesto, a Luis, persona de gran corazón, por confiar tanto en mí.

Muy especialmente quiero agradecerle lo que me ha dado a Ángeles, amiga, compañera y todo lo que una persona puede ser para otra. Esta tesis es tan tuya como mía, siempre creíste más en mí que yo mismo, simplemente gracias desde el fondo de mi corazón.

Por último, quiero dedicar todo mi trabajo plasmado en estas líneas a mis padres. Siempre estaré en deuda con vosotros por hacer el esfuerzo para que pudiera estudiar, sé que nunca fue fácil -a veces imposible- espero que mereciera la pena y estéis orgullosos. Sois mis guías para mi vida futura, espero saber hacerlo tan bien como vosotros lo habéis hecho. También quiero dedicarle este trabajo a mi hermano José que siempre me pone los pies en la tierra, pragmático, realista y compañero de juegos tantos años. Y por último a mi abuela Elvira que siempre preguntaba por el final de este trabajo. Pues bien, por fin aquí está.

Aunque en estos casos uno nunca quiere olvidarse de nadie, han sido largos años de trabajo compartidos con muchas personas. Si no menciono a alguien en estas líneas solo es fruto de mi falta de memoria nunca motivado por el desagrado. Así que si estás entre esas personas víctimas de mi mala memoria, gracias por compartir mi vida y ten la seguridad que lo que consiga será en gran parte gracias a tu ayuda y a tu amistad.

De verdad, gracias a todos.

**Tegucigalpa, 19 de Mayo de 2013.**

*Amicus certus in re incerta cernitur*



## Extended abstract

---

The work involved in this Thesis could be included in archaeometry field, in the intersection between natural, human and social sciences. The term includes a big amount of disciplines and demonstrates the possibilities that offer the use of the natural sciences techniques in cultural contexts. Since time ago Archeology is in an increasing technification process that is based on the results obtained from other disciplines to obtain the most solid record possible.

We understand archaeometry as the interdisciplinary field responsible for developing techniques and methodologies in order to obtain information to archaeology and social sciences, being the final objective getting the most complete knowledge of ancient peoples' cultural aspects. That is the reason why we believe archaeoastronomy can be included inside archaeometry as its objective is understand the way in which past societies related to the cosmos.

It is a discipline with a short existence in the academic world, especially in Spain and that lays between two very different and strong paradigms (astronomy and archaeology). It has originated some typical problems in interdisciplinary works. The parallel trajectories of astronomers and archaeologists have produced some incomplete studies lacking of appropriate cultural interpretation or technical accuracy.

We believe that archaeoastronomy must have an own work methodology that allows to develop works and conclusions based in scientifically strong principles and design them properly was the motivation of this Thesis. That is the reason this Thesis is divided in two main parts: the first one dedicated to methodological aspects, to lay the foundations of a strong, testable and useful for every researcher. The second part is dedicated to the study of several archaeological cases in which the proposed methodology has been applied.

The first part shows a number of techniques: classic astrogeodetical, global navigation satellite systems and Spatial Data Infrastructures that allows the development of spatial studies. These techniques can give a much better accuracy than classical methods -used yet- in archaeoastronomy, as compass or naked eye observations. Besides that allow the studies are repeatable, always including in the studies the gathered data and the methodology used.

The second part presents three of the specific work made, two of them belongs to Celtiberian people's sites or very related to it. In first place, the work made over incineration necropolis is presented. The aim of this study is to corroborate the orientation pattern observed in Herreria necropolis (Guadalajara) to the major lunar standstill and solstitial solar events. We have studied all Celtiberian necropolis in Guadalajara and Soria provinces as other Final Bronze Age and Iron Age's cemeteries from Cataluña and Aragon trying to have a proper sample.

The second of the works has focused in the possible celtiberian sanctuary of Castilmocho (Guadalajara). Its particular situation in a rocky peak and the cupstones groups discovered seems to indicate that could be a stargazing point and several time and spaces marker according to moon and solar Celtic calendar. The total amount of cupstones is 29 that can correspond with a sinodic month, very important in agriculture, cattle and even in human fertility cycles.

The third study presented was made in Portugal and it was focused in several non digged ditched enclosures of Neolithic and Chalcolithic periods but of whom is wanted to obtain some archaeoastronomical information before the intervention. This represents an important methodological contribution as it is the first time that Spatial Data Infrastructures were used in Archaeoastronomy and with undoubtedly success and interest. This way we can explore the uses of astronomy across thousands of years and changes in mentality and social interests related to sky observation. It seems to be clear that all these sites were intentionally designed in area designation and in the enclosure's building. At least they are in connection to one solar event. The data of this archaeoastronomical study give us new arguments for the understanding of the role of these enclosures in death management and its cosmological relationship in different and wide periods of time.

When we analyze these examples we can see that Archaeoastronomy offers a huge study perspective to every cultural context or chronological period. It can give us information of less tangible aspects of human activity as ideas, believes and rit-

---

uals even over sacred and profane time counts that rules the life of any community. According to that, Archaeology should incorporate this type of studies in the research projects as complementary to the other, more traditional, technical studies that offer data over more material aspects of the culture.



---

## Capítulo 1

# Introducción

---

El trabajo realizado en esta Tesis Doctoral podría insertarse en el ámbito de la Arqueometría que podemos definir como "... el campo interdisciplinar entre las Ciencias Naturales y las Ciencias Humanas encargado de desarrollar una serie de técnicas para obtener información sobre aspectos culturales históricos y medioambientales" (Maniatis, 2002).

La existencia de disciplinas en la intersección entre las ciencias naturales, humanas y sociales ha sido siempre complicada y a menudo desdeñada (Esteban, 2009). Sin embargo, con la misma frecuencia se ha visto la necesidad simbiótica de complementar el conocimiento que aporta la propia disciplina con el que aportan otras ajenas (García, 2003; Montero y otros, 2007; Brothwell y Higgs, 1990; Capel, 1999; Feliú Ortega y otros, 2003; Martín-Torres y Rehren, 2008; Tite, 1991). En el caso de la arqueometría, término dentro del que se engloban una gran cantidad de disciplinas, los resultados que se obtuvieron en su aplicación a la conservación del patrimonio mostraron a los profesionales de la arqueología las posibilidades del uso de las técnicas propias de las ciencias naturales a contextos culturales. La necesidad que tiene la arqueología por utilizar el mayor número de fuentes de información, que permitan extraer información de los pueblos del pasado, obligó a que los métodos de trabajo trascendieran los clásicos de observación y catalogación de materiales. Por ejemplo, el estudio de la estructura de los materiales que se recuperan (arqueometalurgia, paleomagnetismo, datación por carbono-14, dendrocronología, termoluminiscencia, etcétera) y del contexto geográfico y natural donde se ubicaron los pueblos antiguos (palinología, geoarqueología, arqueobotánica, arqueozoología) son ya una realidad en muchos estudios arqueológicos y ha tenido como consecuencia una creciente tecnificación de la arqueología como disciplina (D.~Ashkenazi y otros, 2013; Ferrarese y Lella, 2013; Albaréde y otros, 2013; Hillam y Tyers, 1995).

El objetivo, por lo tanto, de la arqueometría es desarrollar una serie de técnicas y metodologías adaptadas a las necesidades de las ciencias humanas en general y a la arqueología en particular, siendo el fin último conocer de la forma más completa posible aspectos culturales de los pueblos antiguos. Esto implica que los estudios arqueométricos no deben ser tan solo una herramienta a la que acudir al no tener disponible otra fuente de información, sino que deben formar parte de la estrategia científica desde un primer momento y deben ser utilizados para responder las preguntas que plantea la investigación arqueológica. Obviar estas premisas trae como consecuencia la obtención de datos meramente descriptivos y no valorativos, motivando la inutilidad de los análisis arqueométricos para la arqueología y eliminando la razón de ser de la arqueometría (Tite, 2002). La inclusión de la arqueoastronomía dentro de la arqueometría es una propuesta que nuestro grupo de investigación ha realizado a la vista del desarrollo de esta disciplina y que quedó plasmado en nuestro apoyo y participación en la primera sesión específica de arqueoastronomía en el VIII Congreso Ibérico de Arqueometría de la Sociedad de Arqueometría aplicada al Patrimonio Cultural (SAPaC) Cerdeño y Rodríguez-Caderot (2010a,b).

Propuesto el marco donde pensamos que debería desarrollarse la Arqueoastronomía la podemos definir como la disciplina que trata de averiguar el grado de conocimientos astronómicos de las sociedades antiguas, relacionados con el cosmos (Belmonte, 2000). Aunque dentro del texto comentaremos con más detenimiento estos conceptos añadiremos aquí la matización que realizó César Esteban teniendo en cuenta el aspecto cultural "... estudia el desarrollo de las astronomía de las sociedades prehistóricas dentro de su contexto cultural" (Esteban, 2003), y la definición de la profesora Cerdeño y colaboradores que abundan aún más en este aspecto "...la manera en la que las sociedades de épocas pasadas se relacionaron con el cosmos, a partir de los datos arqueológicos, etnográficos e históricos" (Cerdeño y otros, 2006). Sea cual sea la definición que usemos hay que tener en cuenta que se trata de una disciplina que se encuentra a caballo entre dos paradigmas científicos muy diferentes y marcados (la Astronomía y la Arqueología), que ha ocasionado ciertos problemas típicos de los trabajos interdisciplinarios. Las trayectorias paralelas y no convergentes de astrónomos y arqueólogos en los inicios de esta disciplina ha propiciado la existencia de trabajos incompletos bien por falta de rigor metodológico o bien por falta de una interpretación cultural adecuada. Por lo tanto, una colaboración estrecha solamente puede redundar positivamente en ambas disciplinas. No podemos olvidar que todas las culturas sin excepción, aunque en diferente medida,

elevaron su mirada hacia el cielo, un entorno que se encuentra permanentemente sobre nuestras cabezas, dirige nuestra vidas y cuya observación cubrió la necesidad humana de controlar el tiempo y de aprehenderlo dentro de su espacio cultural y su entorno. El paisaje celeste se encuentra inexorablemente unido a la cultura de los pueblos y por ello la Arqueoastronomía encuentra su razón de ser ya que la información que proporciona es de interés para la Arqueología.

Como cualquier otra disciplina científica que se integre dentro de la arqueometría debe poseer una metodología propia de trabajo que permita desarrollar trabajos y conclusiones apoyadas en bases científicamente sólidas. Este es el objetivo principal de esta Tesis, sentar las bases para una metodología fuerte, contrastable y que pueda ser utilizable por cualquier investigador. Como se ha comentado con anterioridad la arqueometría debe responder preguntas arqueológicas y también se ha querido cubrir este objetivo ahondando en el conocimiento que tenían las culturas del pasado de la astronomía, en particular la celtibérica aunque en este trabajo también se han tratado las culturas del neolítico y calcolítico peninsular.

La elección del tema de esta Tesis es el resultado de mi propia trayectoria profesional. Aunque mi formación académica es en astronomía y astrofísica, siempre tuve un gran interés por la historia y la arqueología y probablemente por ello me sentí muy pronto interesado por los aspectos culturales de la astronomía. Una vez que entré en contacto con la profesora Caderot, que trabaja en estos temas desde la sección departamental de Astronomía y Geodesia en la Facultad de Ciencias Matemáticas de la Universidad Complutense, pude participar en los trabajos que estaba realizando en la necrópolis de Herrería dirigidos por la profesora Cerdeño desde la Facultad de Geografía e Historia de la misma universidad. Por ello me pareció necesario tener un buen conocimiento arqueológico, ya que sería el contexto en el que iba a trabajar. Por lo tanto, como complemento a mi formación original me matriculé en los dos años del, en aquel momento nuevo, Máster en Arqueología de la Facultad de Geografía e Historia de la Universidad Complutense de Madrid. Siempre me pareció importante confrontar los conocimientos astronómicos con los arqueológicos y culturales pues creo son la clave para un mejor acercamiento al papel que otorgaron las sociedades -en mi caso especialmente las ágrafas- al cielo y a cómo contemplaron la bóveda celeste.

Por todas estas razones he elegido el título de esta memoria "*Arqueoastronomía: El espacio celeste en la interpretación arqueológica*" porque creo que tener en cuenta la visión que tuvieron del cielo las culturas que estudiamos en arqueología puede

facilitar una información añadida sobre estos mismos pueblos, precisamente sobre un aspecto menos tangible, y por ello más difícil de alcanzar, que es el mundo de las ideas, de creencias y mitos ya que el cielo fue siempre un referente simbólico.

Esta Tesis Doctoral se divide en dos bloques principales bien diferenciados, el primero de ellos comienza con un rápido repaso historiográfico de la disciplina desde sus orígenes, haciendo especial hincapié en el caso español y revisando la situación de la disciplina en nuestro país en el último lustro. El capítulo 3 consideramos que es uno de los más importantes ya que se estandariza, tras unos conceptos generales geodésicos y astronómicos, las más modernas metodologías en estudios espaciales aplicadas a los estudios en arqueoastronomía. Especialmente interesante, dentro de la propuesta metodológica, es la aplicación de las Infraestructuras de Datos Espaciales a la información astronómica en contextos culturales. Se trata de incluir una capa más de información a las clásicas en este tipo de estudios: hidrografía, uso del suelo, etcétera. Esta nueva propuesta ha demostrado su utilidad en el trabajo que hemos realizado en los recintos de fosos neolíticos y que se exponen con detalle en la segunda parte de esta memoria.

En el segundo bloque de la Tesis se detallan tres de los estudios concretos en los que hemos aplicado la metodología antes propuesta. El primero de ellos presenta los resultados del trabajo realizado sobre las necrópolis de incineración y, en particular, las de la cultura celtibérica. Estos trabajos partieron que los que hicieron las profesoras Cerdeño y Caderot y en los que participé. En segundo lugar desarrollamos el estudio inédito del santuario de Castilmocho en el que se aplicaron tanto geodésicas como topográficas realizadas en el mismo. Se hace especial hincapié en el estudio lunar, astro que ha sido considerado importante en el ideario celta, según relatan las fuentes clásicas. El tercer trabajo realizado plasma la investigación llevada a cabo en el Alentejo portugués sobre los recintos de fosos del Neolítico y Calcolítico. Además del estudio propiamente astronómico se realizó una valoración rigurosa de los lugares estudiados para confirmar la elección de la ubicación de estos lugares así como su arquitectura y construcción.

Por último hemos incluido un breve resumen de los estudios arqueoastronómicos sobre los que estamos trabajando en la actualidad. En último lugar se ha decidido añadir una serie de anexos para no interrumpir la fluidez del texto. El primero de ellos incluye los datos de las necrópolis de incineración, el estudio estadístico detallado de los datos, los datos del levantamiento realizado en el santuario de Castilmocho y los datos que se han utilizado para realizar el estudio comparativo de los



---

diferentes métodos que aparecen en la metodología propuesta. En el segundo anexo aparecen los diferentes softwares desarrollados o utilizados para la realización de esta Tesis. En el último anexo se han añadido los artículos publicados relacionados con la Tesis Doctoral que ahora se presenta.



---

## Capítulo 2

# Historiografía

---

### 2.1. Inicio y evolución de los estudios arqueoastronómicos

Este término fue acuñado, por primera vez, por el escocés Euan MacKie en el año 1971 (McKie, 1971) en su revisión del libro de Alexander Thom "Megalithic lunar observatories". En ella se refiere a la arqueoastronomía como el estudio de las prácticas astronómicas en tiempos antiguos. Sin embargo, a lo largo de la historia de la disciplina se han propuesto gran cantidad de nombres (Iwaniszewski, 1994, pág. 19) junto con sus diferentes definiciones.

El primer término que hizo referencia a este tipo de estudios fue astroarqueología y aparece en 1963 (Hawkins, 1963; Hawkins y White, 1965, pág. 121), definida como *el estudio de orientaciones de monumentos megalíticos, auxiliar de la arqueología, antropología, historia, etcétera*. Cinco años más tarde el mismo Hawkins (Hawkins, 1968) se refiere a ella como *parte de la historia de ciencia, en particular de la historia de la astronomía*. También es atribuido a Hawkins la definición de la arqueología estelar como sinónimo de astroarqueología (McKie, 1981). Existen aún dos definiciones más de astroarqueología; la primera (Baity, 1969) la define como una *subdisciplina antropológica, una técnica para estudiar las ciencias exactas en la antigüedad*. La segunda la realiza Aveni (Aveni, 1981) apoyándose en la citada definición de arqueoastronomía, *subdisciplina de la arqueoastronomía, referente a las ciencias exactas: las mediciones en el campo y los cálculos posteriores*.

Alexander Thom usa diversos nombres: astronomía megalítica, ciencia megalítica y ciencia de la Edad de la Piedra para referirse al *tratamiento del conocimiento as-*

*trónomico de los constructores de monumentos megalíticos como un saber científico* (Thom, 1967, 1971).

Aparece también el término arqueoastronomía (Brecher, 1978) como enfoque particular de la arqueoastronomía orientado a contribuir al desarrollo de la ciencia moderna (novas, supernovas, cometas, colores de estrellas...). Ya en fechas más recientes Stanislaw Iwaniszewski (Iwaniszewski, 1991) define la astronomía cultural como el estudio de las relaciones entre el hombre y los fenómenos astronómicos dentro del contexto cultural; se compone de 4 subdisciplinas: la arqueoastronomía, la etnoastronomía, la historia de la astronomía y la socioastronomía.

A pesar de todas estas definiciones, Arqueoastronomía es el término que mayor aceptación ha tenido entre investigadores de dentro y fuera de la disciplina. Tanto es así que en la actualidad el término astroarqueología ya solo es aprovechado por los estudios pseudocientíficos que pueden verse abundantemente en diversas páginas electrónicas en internet. Sin embargo, aunque el término parece bastante consensuado -salvo por la astronomía cultural anteriormente citada- dista mucho de tener una definición unívoca. Además de la de Mackie, existen diversas posteriores:

- Nueva subdisciplina relacionada directamente con la astronomía, la ingeniería y la arqueología (Baity, 1973).
- Interdisciplina que resulta de la cooperación entre investigadores procedentes de las ciencias exactas (astrónomos, sobre todo): y de las humanidades (arqueólogos, antropólogos, etnólogos, etc. (Aveni, 1975).
- Parte de la Historia de la Astronomía (Gibbs, 1979).
- Parte de la historia de la ciencia que estudia también el contexto social de la ciencia (McCluskey, 1982).

En el caso más actual español cabe referirnos a las definiciones realizadas por Belmonte (Belmonte, 2000, pág. 14), *la disciplina que trata de averiguar el grado de conocimientos astronómicos de las sociedades antiguas, relacionados con el cosmos* o por César Esteban *disciplina que estudia el desarrollo de la astronomía de las sociedades prehistóricas dentro de su contexto cultural* (Esteban, 2003, pág. 309).

Personalmente, la definición con la que más conforme me siento es la que identifica la arqueoastronomía como la *disciplina encargada de estudiar la manera en que las*

*sociedades de épocas pasadas se relacionaron con el cosmos, a partir de los datos arqueológicos, etnográficos e históricos* (Cerdeño y otros, 2006). Dentro de esta definición cabe tratar cualquier aspecto social en el que hayan formado parte los conocimientos astronómicos en el pasado, y permite hacerlo desde un prisma antropológico, etnográfico, arqueológico, etc. En mi opinión, la arqueoastronomía no debe buscar el conocimiento astronómico en el pasado *per se*, si no usarlo para acceder a los aspectos de las sociedades del pasado que no son accesibles por medio de otras disciplinas. Si bien es cierto que los puntos de partida son diferentes -en el caso americano se poseen, en muchos casos, de códigos específicos de conocimiento astronómico- el mejor ejemplo de ello es cómo se ha intercalado el trabajo arqueoastronómico en el mundo pre-colombino con gran aceptación por parte de los investigadores de las ciencias sociales. Extraños son los trabajos en los que aparecen solamente arqueoastrónomos en solitario sin la colaboración de algún antropólogo y/o arqueólogo. Lamentablemente los paradigmas teóricos y metodológicos son cada vez más distantes de los europeos.

En este sentido la Arqueoastronomía es una ciencia auxiliar de la Arqueología, una arqueometría. O dicho de otra forma, una disciplina científica que utiliza los métodos de las ciencias naturales para los estudios arqueológicos. Ejemplos de ello son: Arqueometalurgia, Arqueozoología, Arqueobotánica... En todos estos casos el especialista es requerido por el arqueólogo para estudiar un aspecto específico del registro arqueológico. Una vez realizado, el arqueólogo usa los datos específicos junto con el resto para interpretar el yacimiento en su conjunto.

Sin embargo, la arqueoastronomía posee ciertas diferencias con el resto de arqueometrías. Requiere de una retroalimentación mayor que en otras arqueometrías, por ejemplo la datación por  $^{14}\text{C}$ . Este es el argumento más plausible para acabar, de una vez por todas, con el aislamiento de las ciencias sociales por un lado y las naturales por otro. Sin una colaboración real y fluida se sufre de incomprensión y rechazo por parte de los arqueólogos e indiferencia por parte de los arqueoastrónomos. Sin este intercambio de información los trabajos arqueológicos adolecen de una importante componente cultural en sus interpretaciones y los arqueoastrónomos cometemos, en muchos casos, errores culturales al interpretar los resultados obtenidos en mediciones de campo.

Por lo tanto, podemos ver la Arqueoastronomía como la arqueometría que se encarga del espacio celeste de las culturas del pasado en todas sus vertientes, tanto físicas (orientaciones, registro material arqueológico con carácter astronómico...),

como ideológicas (cosmovisiones, creencias...) para concluir aspectos culturales de las mismas.

## 1973/75-1981

- "Arqueoastronomía y las raíces de la Ciencia", AAAS. San Francisco, EUA. (1980)
- Universidad de Newcastle-upon-Tyne, Inglaterra. (1981)
- "Etnoastronomía y Arqueoastronomía en los Trópicos Americanos", NYAS. Nueva York, EUA. (1981)

## 1981-1986

- "Historia de la astronomía en México". Ensenada, México. (1982)
- "Cosmología africana, astronomía y cosmovisión", ASA. Washington, D.C., EUA. (1982)
- Primer simposio Internacional de Etnoastronomía, Washington D.C., EUA. (1983)
- "Astronomía y Ceremonia en el SurOeste Prehistórico", Albuquerque, EUA. (1983)
- "Primera Conferencia Regional Occidental sobre Arqueoastronomía", Northridge, EUA. (1983)
- "Arqueoastronomía y Etnoastronomía en Mesoamérica", México, D.F., México. (1984)
- "Arte Rupestre y Arqueoastronomía", Little Rock, EUA. (1984)
- "Investigación arqueoastronómica en Italia", Padova, Italia. (1985)

## 1986-1990

- Primer Simposio Nacional sobre Arqueoastronomía, Tolbukhin (Dobrikh), Bulgaria. (1988)
- "Astronomia e Archeologia", Venecia, Italia. (1989)

## 1990-1993

- "Problemas actuales y el futuro de la arqueoastronomía", Varsovia, Polonia. (1990)
- "Problemas actuales y el futuro de la arqueoastronomía", Székesfehérvár, Hungría. (1991)
- "El Tiempo y la Astronomía en el Encuentro de Dos Mundos", Frombork, Polonia. (1992)
- "Conferencia pan-americana sobre las matemáticas, astronomía y modos de pensar precolombinos", Guatemala-Tikal, Guatemala. (1992)
- Conferencia Europea sobre Arqueoastronomía, Estrasburgo, Francia. (1992)
- 4 Conferencia Europea sobre Arqueoastronomía, Smolyan, Bulgaria. (1993)

**Tabla 2.1:** Principales reuniones arqueoastronómicas hasta el año 1993. Adaptado de (Iwaniszewski, 1994, pág. 20)

Los primeros trabajos que se interesaron por los aspectos astronómicos dentro de los yacimientos arqueológicos datan del siglo XVIII de mano del anticuario William Stukeley (Stukeley, 1740) y el arquitecto John Wood El viejo (Wood, 1747). Sus trabajos hacían referencia especialmente a Stonehenge aunque también existen trabajos sobre los monumentos megalíticos de Callanish, Castle Rigg y Sarsen Circle. Así comienzan dos tendencias que se prolongarán ampliamente en el tiempo. La primera de estas tendencias es la preponderancia del interés por los yacimientos megalíticos frente a lugares arqueológicos de otras épocas, hecho que se da hasta nuestros días. El segundo punto importante es el dominio británico en estos estudios que se ha mantenido hasta fechas recientes.

Tras los estudios de Wood y Stukeley hubo que esperar hasta el siguiente siglo para conocer la recopilación, realizada por el anticuario Alfred Lionel Lewis, de los yacimientos con posible interpretación astronómica (Lewis, 1878), utilizada y ampliada posteriormente por el capitán de la marina británica Henry Boyle Townshend Somerville (Somerville, 1909, 1912, 1922) y el astrónomo Joseph Norman Lockyer (Lockyer, 1894, 1901, 1905, 1906). Otro de los grandes hitos, ya fuera de las fronteras del Reino Unido, fue llevado a cabo por Alexandre Baschmakoff publicando su estudio sobre las alineaciones astronómicas de Carnac (Baschmakoff, 1930).

En lo referente a la historia de la disciplina a partir de los años 40-50 haré uso de la distinción que realiza Iwaniszewski en (Iwaniszewski, 1994). Siendo así, el primer periodo (1963-1973/75) en la historia de la disciplina es el denominado periodo de expansión, dando comienzo con dos artículos y un libro de Gerald Hawkins sobre Stonehenge (Hawkins, 1963, 1964; Hawkins y White, 1965). Es un periodo marcado por el debate metodológico que tuvo su comienzo en la revista *Antiquity* con artículos de, entre otros, Thom, Hawkes, Hoyle, Charrière y Roos (Thom, 1966; Hawkes, 1967; Hoyle, 1966; Charrière y Roos, 1964). Estas discusiones se apoyaron en los trabajos de Thom cuyo primer libro se publica en estas fechas, a pesar de que sus primeros trabajos (Thom, 1954, 1955) fueron publicados 10 años antes.

Sin duda, el principio de la disciplina como rama científica no se entendería sin la figura de Alexander Thom que llena todo este periodo. Tanto es así, que incluso aparece lo que podría denominarse la "saga de los Thom", ya que asimismo aparecen publicaciones con su hijo Archibald Stevenson Thom, por ejemplo, (Thom y Thom, 1972, 1974) y su nieto Alexander Strang Thom (Thom y otros, 1974, 1975). Además de la aplicación, por primera vez, de los métodos topográficos y matemáticos al estudio de las orientaciones astronómicas en yacimientos arqueológicos Thom



propuso dos hipótesis que tuvieron mucho impacto en posteriores estudios: la existencia de la llamada "yarda megalítica" y el calendario de 16 meses.

En este periodo los estudios se centran en Stonehenge y en los monumentos megalíticos casi en exclusividad. Se presentan continuamente nuevos datos de yacimientos desconocidos desde el punto de vista astronómico. Se apunta el grado de complejidad científica de una cultura observando aquellos restos que presentan una menor exactitud o complejidad. También se formula la tesis sobre la existencia de una élite intelectual que atesoraba y manejaba el saber científico en el Neolítico y la Edad del Bronce. También en este periodo comienzan los trabajos en América (Dow, 1967).

Se celebra la primera reunión sobre este tipo de estudios en el año 1969 en la Universidad de Glasgow y en 1972 el primer congreso titulado "El lugar de la astronomía en el mundo antiguo" financiado por la Real Sociedad y la Academia Británicas en el que continuó el debate metodológico. También comienzan a aparecer artículos de la disciplina en la revista británica *Journal for the History of Astronomy*. Desgraciadamente también aparece un rechazo generalizado desde las ciencias sociales *"La actitud de reserva e incluso de hostilidad, entre arqueólogos, antropólogos e historiadores provocó un "desarrollo desequilibrado" de la astroarqueología: su parte técnica y relacionada con los métodos del trabajo de campo se estabilizó antes de que el debate teórico, arqueológico, antropológico o histórico hubiera sido iniciado... Como resultado a finales de la década de los sesenta aumentó el caos conceptual"* (Iwaniszewski, 1994, pág. 7). Lamentablemente este rechazo y el caos conceptual siguen existiendo en la disciplina en la actualidad.

El siguiente periodo abarca desde 1973/1975 hasta 1981/1982 y se denomina periodo de consolidación. Tras la publicación de Baity, que sirve a la par como resumen de la disciplina hasta ese momento y como aparición y redefinición de conceptos (Baity, 1973), en este periodo aparecen dos posiciones enfrentadas: mientras una defendía la arqueoastronomía como una rama interdisciplinar otros veían en dicha interdisciplinariedad la manera de convertirla en un estudio científico superficial y accesorio (Krupp, 1981). La primera postura era defendida por la mayoría de investigadores entre los que destaca Aveni, cuyas colaboraciones con historiadores (Aveni y otros, 1982) y antropólogos (Zuidema, 1977), entre otros, dieron interesantes resultados. Esta colaboración se incrementó mediante la organización de dos conferencias internacionales, la primera en México D.F. en 1973 (junto al historiador Horst Hartung) y la segunda en la Universidad de Colgate en 1975. Aveni también

propuso el concepto de arqueoastronomía tropical para diferenciarla de la megalítica que se promulgaba en Europa.

En los estudios realizados en América -principalmente, Mesoamérica, Perú, California y suroeste norteamericano- se apostó por un enfoque más orientado a la idea que Jonathan Reyman tenía de los estudios arqueoastronómicos. Según Reyman, los estudios arqueoastronómicos deberían orientarse a resolver los problemas particulares de los sistemas sociales y no limitarse a demostrar ciertos alineamientos astronómicos. Mientras, en Europa se continuaba sin situar los estudios arqueoastronómicos en su contexto sociocultural, en muchos casos solamente se incluía una descripción astronómica de las orientaciones del yacimiento arqueológico en cuestión. Quizás esta falta de inclusión de conceptos culturales y sociales haya que buscarla en la falta de participación de investigadores de las ciencias sociales, al contrario que lo que ocurría en América donde rápidamente los antropólogos mostraron su interés por este tipo de estudios.

Las ideas de MacKie y Wood sobre el papel de los sacerdotes en el desarrollo y conservación del conocimiento astronómico y la diferencia de precisión entre el Neolítico y la Edad del Bronce dieron lugar al debate entre astronomía científica y astronomía ritual (Mackie, 1977a,b; Wood, 1978). A principios de los años 80 empezó a decaer la preponderante astronomía megalítica a favor de un uso de los monumentos megalíticos en relación a actividades religiosas, rituales y/o simbólicas. Ello hace que comience la búsqueda de un método objetivo para evaluar la intencionalidad de los alineamientos, postulándose rápidamente la estadística como método universal (Freeman y Elmore, 1979; Freeman, 1982; Thom y Thom, 1982).

Continuó creciendo el número de simposios, congresos y reuniones. A partir de 1979 se organiza un simposio sobre temática arqueoastronómica durante los Congresos Internacionales de los Americanistas- ello da una idea de la relevancia que toma rápidamente la Arqueoastronomía en el mundo americano- y, a partir de 1980, en las de la Sociedad Americana de Folklore. También se presentan sesiones durante las reuniones anuales de la Sociedad Astronómica Americana. También cabe mencionar, por su relevancia, en 1980 el organizado por la Asociación Americana para el Progreso de la Ciencia bajo el título "Arqueoastronomía y las raíces de la Ciencia" en San Francisco, EUA y el mismo año el celebrado en Inglaterra en la Universidad de Newcastle-upon-Tyne. Un año más tarde Nueva York, hospedó el simposio "Etnoastronomía y Arqueoastronomía en los Trópicos Americanos" organizado por la Acedemia de Ciencias de Nueva York.

En cuanto a revistas especializadas aparece en 1977 *Archaeoastronomy Bulletin*, que pasó a llamarse más tarde *The Journal of the Center for Archaeoastronomy* y *Archaeoastronomy*. Su temática era principalmente americanista, editado por John B. Carlson y Roy A. Williamson. También con el nombre *Archaeoastronomy* aparece en 1979 el suplemento de la *Journal for the History of Astronomy*. La temática era tanto megalítica como de estudios de arqueoastronomía americana editada por Michael A. Hoskin.

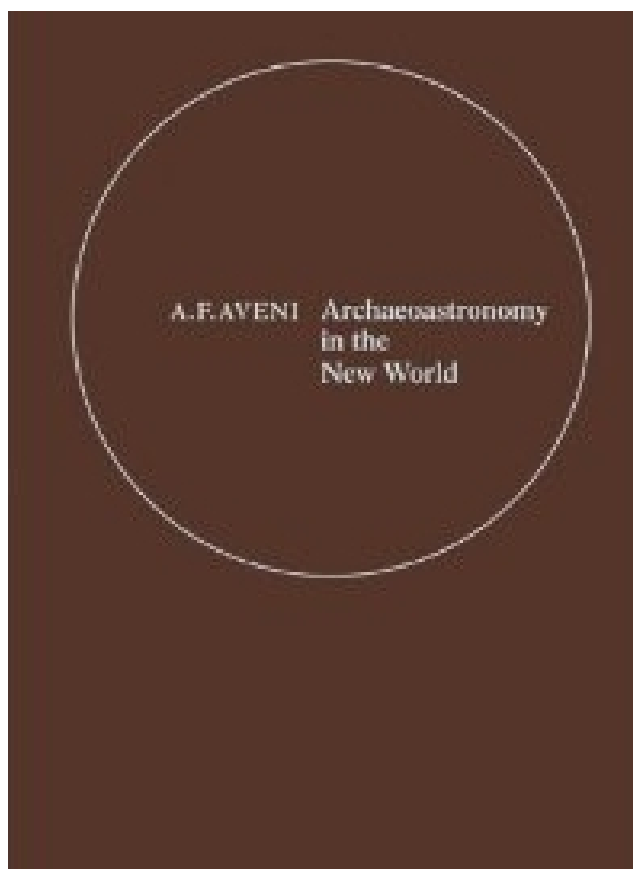
Entre los años 1981/1982 y 1986, siguiendo de nuevo a Iwaniszewski, comienza un nuevo periodo -el de ruptura- coincidiendo con la celebración de la Primera Conferencia Internacional Sobre Arqueoastronomía. En ella aparece una verdadera división entre los estudios que se realizan en el continente europeo, básicamente en Reino Unido, relacionados con el grado de precisión en la medición y la validez de los conceptos estadísticos para validar los estudios arqueoastronómicos, y los que se realizan en el continente americano, utilizando evidencias antropológicas (registros etnohistóricos, pervivencias etnológicas ...) y arqueológicas, documentos (mayormente códices) y la historia del arte (grabados y petroglifos en estelas).

Heggie publicó una recopilación de los trabajos existentes hasta la fecha de estudios sobre astronomía y geometría megalítica desde un punto de vista revisionista y crítico (Heggie, 1981a,b, 1982). El trabajo de Clive Ruggles (Ruggles, 1981, 1982a,b, 1983, 1984a,b) tuvo como fin, durante este periodo, revisar el trabajo de A. Thom quien, por su parte, continuó refinando sus orientaciones lunares. (Thom y Thom, 1983).

Desde América se continuó pidiendo un enfoque contextualizado culturalmente y se publicaron relevantes contribuciones etnoastronómicas sobre la cosmovisión andina (Urton, 1981), de los pueblos indígenas norteamericanos y mesoamericanos (Chamberlain, 1982; Zeilik, 1984, 1986; McCluskey, 1981; Tedlock, 1982; Broda, 1982).

Continuaron aumentando el número de reuniones científicas (ver tabla 2.1) apareciendo a un ritmo de una y media por año. Como novedad y por primera vez, aparece una realizada fuera del Reino Unido, en particular en Padova, Italia en 1985 titulada "Investigación arqueoastronómica en Italia".

En la Segunda Conferencia Internacional OXFORD 2 sobre Arqueoastronomía celebrada en Mérida, México durante 1986 la diferencia entre los dos enfoques americano y europeo se hizo físicamente separando en dos volúmenes temáticos cada

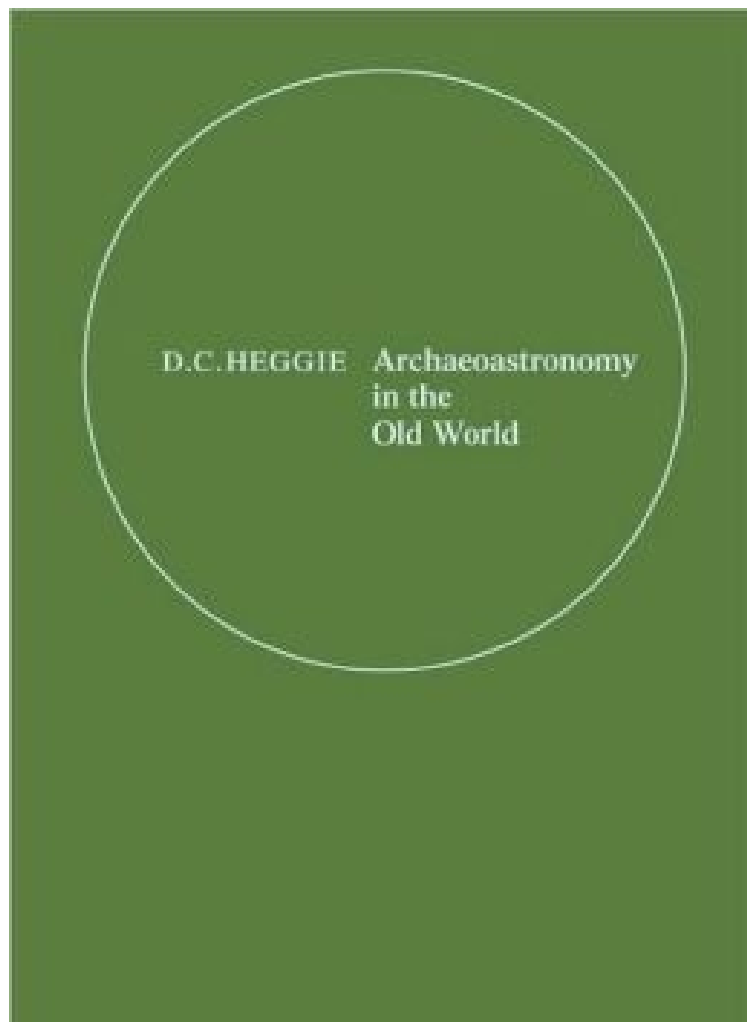


**Figura 2.1:** *Volumen que dio nombre a la Arqueoastronomía Café (Aveni, 1982)*

uno de los enfoques, debido a que cada uno de los volúmenes tenía diferente color y por asociación el primer enfoque pasó a llamarse arqueoastronomía café (Figura 2.1) y al segundo arqueoastronomía verde (Figura 2.2). Con esta conferencia se abre el periodo entre 1986-1990 (Nueva generación), en Europa la conferencia OXFORD 2 supone el abandono del paradigma de la arqueoastronomía verde y la adopción mayoritaria de la contextualización de los estudios astronómicos en la coyuntura social.

Aparece una corriente revisionista que tiene como mayores exponentes Ivan Sprajc y Schaefer. Pero este periodo destaca por ser el momento en el que los estudios arqueoastronómicos se extienden e intensifican por todo el continente europeo, acabando con el "monopolio" del Reino Unido. Aparecen estudios, sobretudo, en países del Este de Europa, como Bulgaria (ver tabla 2.1). El interés que demostraron Pierre Erny y sobretudo Carlos Jaschek de acercar las ciencias sociales y naturales en los estudios arqueoastronómicos fructificó en las reuniones semestrales tituladas

"Astronomie et Sciences Humaines". Se desarrollaron en la Universidad de Estrasburgo desde 1988 y dieron lugar a la publicación de una revista homónima.



**Figura 2.2:** *Volumen que dio nombre a la Arqueoastronomía Verde (Heggie, 1982).*

Los esfuerzos de institucionalizar la disciplina por parte de Jaschek se vieron reflejados en el siguiente periodo 1990-1993 (Transformación) con la fundación de la Sociedad Europea para la Astronomía Cultural (SEAC). La tercera Conferencia Internacional OXFORD 3 sobre Arqueoastronomía trajo consigo el intento de separar y de dar entidad a la que se denominó arqueoastronomía azul -por la portada de los abstract de la Primera Conferencia Mundial sobre Etnoastronomía de 1983 2.1- mientras otros investigadores consideraron la arqueoastronomía como una subdisciplina de la astronomía cultural, esta nomenclatura prevaleció en la anteriormente referida SEAC.

En Europa se consolidaron los estudios en países como Italia, Francia, Bulgaria, Hungría y Polonia con la incorporación, como novedad, de la arqueoastronomía al discurso arqueológico. Y en el Reino Unido Clive Ruggles desarrolló tres nuevos campos de la astronomía cultural: la reconstrucción del paisaje simbólico; uso de nuevas estadísticas y aplicación de Sistemas de Información Geográfica. En América se discutió la metodología de la etnoastronomía y aparecieron publicaciones sobre las líneas de Nazca y la reconstrucción del paisaje cultural de México Central.

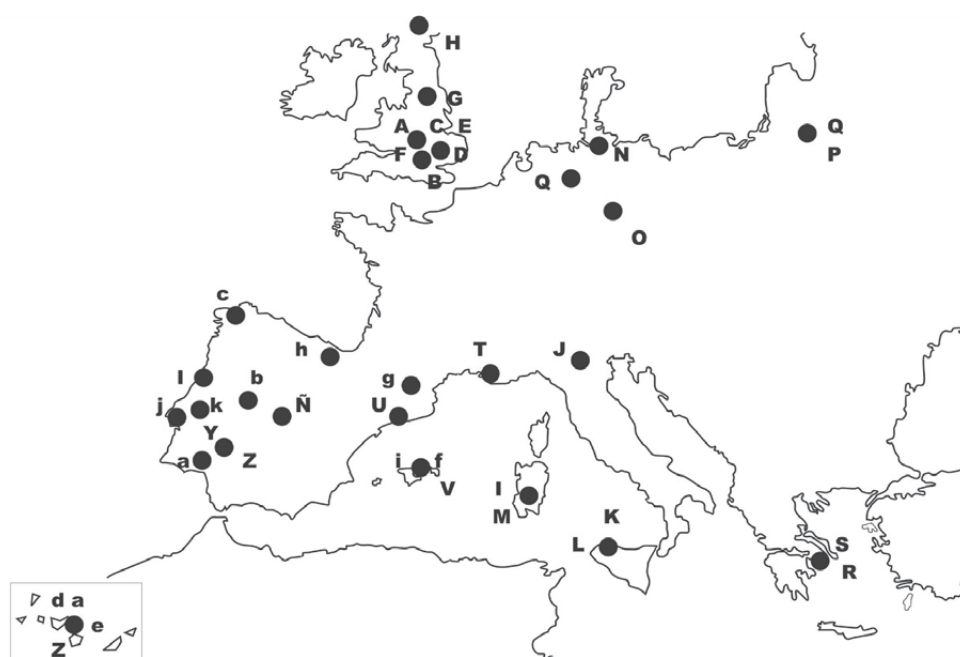
En 1991 y debido a la mayor diversidad idiomática y a la nueva "amplitud de fronteras" aparece en Estados Unidos el *Astronomy and Ethnoastronomy News, The Quarterly Bulletin of the Center for Archaeoastronomy*, editado por John B. Carlson, David Dearborn y LeRoy Doggettse con la intención de agilizar el intercambio de información entre investigadores de los diferentes países.

A partir de 1993 comienza con la Conferencia OXFORD 4 el último periodo que reconoce en su artículo Iwaniszewski como periodo de crisis o saturación donde parece que no se han podido crear nuevos modelos sobre el saber calendárico-astronómico en los sistemas culturales. El número de Conferencias científicas se multiplica así como el número de publicaciones.

## 2.2. Estudios arqueoastronómicos en España

Podemos comenzar a hablar de estudios arqueoastronómicos en España a partir de finales de la década de los 80 del siglo XX, momento en el que aparecen los primeros estudios y con posterioridad los primeros trabajos 2.3, con más de cien años de retraso respecto a otros países. El primer trabajo arqueológico en el que la parte astronómica tuvo un papel relevante fue el llevado a cabo por el profesor Almagro Gorbea, del Departamento de Prehistoria de la Universidad Complutense de Madrid y Gran-Aymerich director de investigación en el Centre national de la recherche scientifique (CNRS) en Paris. El proyecto dirigido por ellos en el sitio arqueológico de Bibracte en la Borgoña francesa (Almagro-Gorbea y Gran-Aymerich, 1991) contó con la participación de la profesora de la Sección departamental de Astronomía y Geodesia de la Universidad Complutense de Madrid, Gracia Rodríguez-Caderot y el actual director del Planetario de Pamplona, Javier Armentia (Armentia y otros, 1993).

Aparte de este trabajo pionero, la "implantación" de la Arqueoastronomía en España viene, como no podría ser de otra manera, de la mano de investigadores ingleses como Michael Hoskin que buscaban yacimientos interpretables astronómicamente fuera de las fronteras británicas (Hoskin, 1985, 1989, 1990). Hoskin contactó con la arqueóloga de la Universidad de Salamanca María Socorro López Plaza que había sido pionera en los estudios desde el punto de vista astronómico en arqueología y que llevó a cabo en 15 dólmenes del noroeste peninsular (López Plaza y otros, 1991). Este interés tuvo como consecuencia la primera publicación en una revista extranjera de un investigador español de la disciplina (Hoskin y Morales Núñez, 1991) y la serie de publicaciones que Hoskin fue realizando desde el año 1994 al 2002 bajo el nombre genérico de "Studies in Iberian Archaeoastronomy" (Hoskin y otros, 1994, 1995a,b; Hoskin y Palomo, 1998; Hoskin y otros, 1998; Hoskin y Sauch, 1999; Gómez Ruiz y Hoskin, 2000; Hoskin y otros, 2001; Hoskin, 2002), siendo varias de ellas en colaboración con investigadores españoles.



**Figura 2.3:** Distribución de los trabajos arqueoastronómicos españoles en el contexto europeo (Cerdeño y otros, 2006).

Estos estudios se realizaron, como es habitual en España y Europa, se hicieron de espaldas a la Arqueología y, por lo tanto, tuvieron muy poca -o ninguna- repercusión en la comunidad científica arqueológica. El comienzo de los contactos

anglo-hispanos centrados en Salamanca tuvieron un refuerzo al mudarse a la ciudad por motivos personales el director del Observatorio de Estrasburgo y fundador de la Sociedad Europea de Astronomía Cultural (SEAC), Carlos Jaschek en 1993 (Jaschek, 1993). Jaschek promulgó -siempre en Salamanca- las famosas reuniones "Astronomía y Ciencias Sociales", de carácter periódico y que reunían a profesores de Física y Humanidades. Esto tuvo como consecuencia que entre el 4 y el 6 de Septiembre de 1996 se celebrara en Salamanca la 4ª reunión anual de la SEAC bajo el título *Astronomy in Culture* (Jaschek y Atrio, 1997), bajo la organización de Carlos Jaschek y Fernando Atrio. Sin embargo, a la muerte de Carlos Jaschek en 1999 no hubo una continuación clara en los estudios, ni una escuela salmantina de estudios arqueoastronómicos propiamente dicha.

También fue en 1993 cuando se formó el primer grupo de investigación en Arqueoastronomía en España, liderado por el astrofísico Juan Antonio Belmonte -hasta hace pocas fechas presidente de la SEAC-y formado por investigadores del Instituto de Astrofísica de Canarias (Tenerife) y del Museo de la Ciencia y el Cosmos (La Palma). Centran sus trabajos en las culturas peninsulares e insulares aunque últimamente se han orientado hacia el estudio del Próximo Oriente y el Antiguo Egipto (Aparicio y otros, 1993; Barrios, 1997a,b, 2002; Jiménez, 1993; Belmonte, 2000; Belmonte y Hoskin, 2002; Esteban, 2001, 2002; Belmonte, 2003; Shalthout y Belmonte, 2005; Belmonte y Shalthout, 2006; Shalthout y otros, 2007, 2008; Belmonte, 2012).

El periodo que desde la década de los 80 hasta el año 2000 se define en el artículo titulado *Los estudios de Arqueoastronomía en España: Estado de la cuestión* (Cerdeño y otros, 2006) como la época inicial o primera etapa de la Arqueoastronomía en España. Como hemos visto una fase que viene caracterizada por los primeros trabajos basados en la península ibérica y/o llevados a cabo por investigadores españoles. La inmensa mayoría de los trabajos se interesan por monumentos megalíticos -como ya venía ocurriendo en el resto de Europa- y son realizados por científicos del mundo de las Ciencias Naturales a espaldas de las Ciencias Sociales lo que derivó en un desinterés por parte de los profesionales de estas últimas disciplinas.

La segunda fase definida en el mismo artículo que comienza en el año 2000 es llamada fase de despegue. Aproximadamente en esa fecha aparece el segundo grupo de investigación de los que existen actualmente en España. Ubicado en la Universidad Complutense de Madrid, es liderado por la profesora María Luisa Cerdeño, profesora en el Departamento de Prehistoria y la profesora Gracia Rodríguez-Caderot y del cual formo parte activa desde el principio de mi actividad investiga-



dora. En este caso el grupo centra sus investigaciones en la cultura celtibérica, en las épocas culturales del final de la Edad del Bronce y Edad del Hierro y últimamente en el Neolítico peninsular (Cerdeño y otros, 2001-2002; Cerdeño y Sagardoy, 2007; Cerdeño y otros, 2004; Mejuto y otros, 2009; Cerdeño y Rodríguez-Caderot, 2010c; Gómez Castaño y otros, 2011). Se trata de un grupo que se caracteriza por una gran preocupación por desarrollar los trabajos arqueoastronómicos con una metodología lo más rigurosa posible y por la ejecución de los proyectos contando siempre con el punto de vista arqueológico, ejemplo de ambas cosas es la presente memoria.

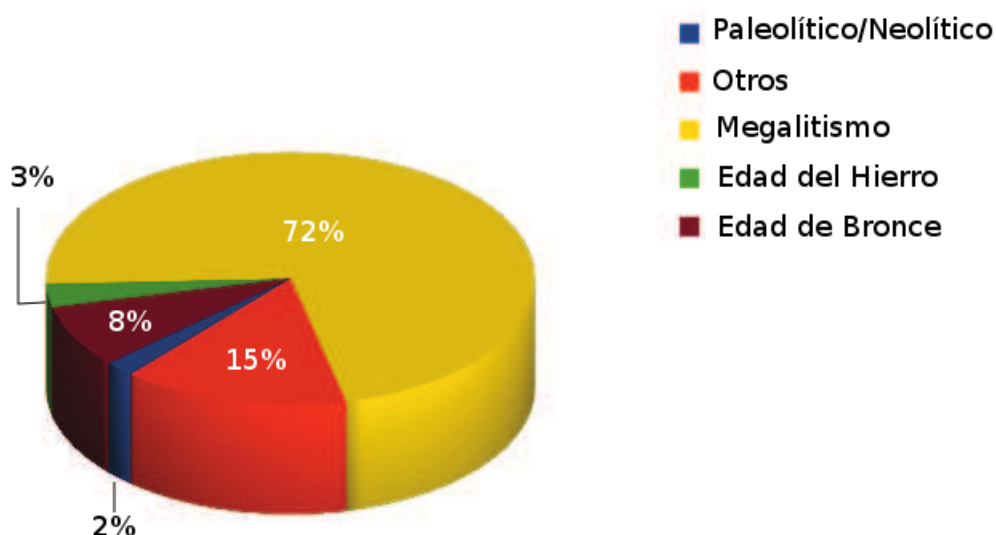
## 2.3. Los estudios arqueoastronómicos en España durante el último lustro

Los últimos años han visto una popularización de estos estudios en el entorno arqueológico español. Podríamos decir que se está produciendo una tercera fase en las investigaciones arqueoastronómicas en España, la *fase de generalización*. Durante este periodo que abarca aproximadamente los últimos 5 años, son cada vez más los arqueólogos que han dirigido su mirada hacia la arqueoastronomía como una forma de obtener información cultural del yacimiento o cultura que estén estudiando, un ejemplo de ello es Francisco Burillo (Burillo Mozota y otros, 2009).

Esta generalización está produciendo un mayor número de trabajos pero no una mayor diversidad en los contextos arqueológicos sobre los que trata, la proporción entre las culturas que los investigadores es aproximadamente la misma que aparece en la figura 2.4. De todas maneras, estamos en el caso opuesto de los típicos estudios arqueoastronómicos en donde se olvida el punto de vista arqueológico. Están apareciendo un buen número de trabajos arqueoastronómicos que dejan de lado el punto de vista astronómico o no lo hacen con el rigor suficiente (García Quintela y Santos Estévez, 2004; Martín González, 2011; Jiménez Hernández y Carrasco Gómez, 2012). Si bien somos críticos con los trabajos arqueoastronómicos que dejan de lado el punto de vista arqueológico, debemos ser igualmente críticos con los trabajos que dejan de lado el punto de vista astronómico, sobretodo en el momento actual que los arqueólogos están empezando a mostrar realmente interés debemos hacer hincapié en realizar los trabajos de la mejor forma posible, sin vicios adquiridos de trabajos anteriores. En el momento actual, sin unos estudios formales específicos, la arqueoastronomía tiene un carácter meramente interdisciplinar para obtener los me-

jores resultados. El peor de los escenarios posibles sería dos mundos; arqueológico y astronómico, divididos realizando estudios por separado.

Por otro lado, no solo los arqueólogos están mostrándose interesados por los conocimientos astronómicos si no que también los investigadores que habitualmente no realizaban los trabajos teniendo en cuenta el punto de vista arqueológico están empezando a tomarlo en cuenta (Belmonte y Shalhout, 2009; Belmonte y otros, 2013 in press). Otro hito de la disciplina es encontrar un lugar dentro de la metodología arqueológica. Parece que se han dado los primeros pasos, impulsado por el grupo madrileño de arqueoastronomía, para que la Arqueoastronomía sea considerada una arqueometría más. Ejemplo de ello es la sesión de carácter exclusivamente arqueoastronómico que, por primera vez, se celebró en el VIII Congreso Ibérico de Arqueometría del 6 al 8 de Junio de 2009.



**Figura 2.4:** *Proporción entre los estudios de las diferentes culturas en España. Adaptado de (Cerdeño y otros, 2006).*

Por lo tanto, parece que finalmente los dos mundos -tradicionalmente separados- han entrado en contacto. Los astrónomos están empezando a integrar la información arqueológica en sus estudios y los arqueólogos la información astronómica en sus trabajos. Según aumenta el interés aumenta el número de investigadores que también se interesan por la arqueoastronomía. Es un momento delicado y es vital no repetir los errores del pasado: aislamiento disciplinar, caos metodológico y falta de capacitación. Hay que ser, por lo tanto, optimista con el futuro de la

investigación arqueoastronómica en España, esperemos que este contacto -tan ansiado por mucho investigadores entre los que me encuentro- acabe por asentar la disciplina en el mundo académico arqueológico al cual tiene mucho que aportar.



---

## Capítulo 3

# Metodología

---

La Arqueoastronomía como disciplina científica debe poseer un marco metodológico claro y estandarizado, una metodología de trabajo que permita relacionar de forma única los trabajos de todos los especialistas, posibilitando una discusión profesional en los mismos términos. Esta estandarización permitiría huir del, anteriormente citado, caos metodológico existente en los estudios arqueoastronómicos actuales y acabaría con la eterna polémica disciplinar (ver capítulo 2) desde prácticamente sus inicios. Por otra parte, desde el punto de vista arqueológico, tanto la disciplina como las conclusiones que se deriven de sus estudios se revestirían de rigurosidad y validez interpretativa, tomándose cada vez más en consideración en los contextos arqueológicos, como ocurre hoy en día, por ejemplo, con disciplinas como la arqueozoología o la arqueometalurgia. En otras palabras, tendría como consecuencia directa e inmediata un gran avance en la disciplina.

Sin duda, esta metodología debe conceder gran importancia a la rigurosidad con la que se toman los datos sobre el campo, que son los ingredientes con los que construimos, en última instancia, las conclusiones arqueológicas. Estas mediciones deben poder ser repetibles y comprobables en todo momento, sin importar el número de ocasiones en las que se realicen.

Esta metodología también debe adaptarse a la realidad arqueológica, obviamente no pueden usarse exactamente las mismas técnicas si varía: el estado de conservación de los restos arqueológicos, la dificultad de acceso al yacimiento, la precisión requerida, etcétera. Por ello, debemos construir un marco lo suficientemente flexible donde tengan cabida este tipo de necesidades propias de la disciplina.

Como una primera aproximación a una metodología propia y definitiva, creemos que es especialmente interesante basarnos en la existente en la Geodesia. La me-

metodología de esta disciplina nos aporta una gran rigurosidad en cuanto a medida de datos se refiere, y en particular la astrogeodesia nos proporciona unas técnicas que nos permitirán hallar, con una gran precisión, los ángulos necesarios en arqueoastronomía, especialmente el acimut, para encontrar las posibles orientaciones en un yacimiento. Pasemos a ver en primer lugar las definiciones astrogeodésicas necesarias para la metodología empleada.

### 3.1. Definiciones astrogeodésicas

#### 3.1.1. Sistemas de Coordenadas Geodésicas

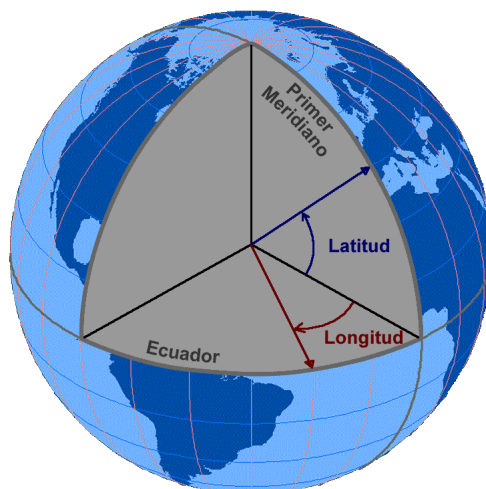
##### Coordenadas Geográficas

Suponiendo la distancia de la superficie de la Tierra a su centro aproximadamente constante, es decir, considerando la Tierra esférica, bastarán dos coordenadas para ubicar un punto sobre la superficie del globo terráqueo. Para ello previamente tenemos que definir los conceptos de meridiano y paralelo.

Se definen los meridianos como las líneas de intersección entre la superficie terrestre y los infinitos planos que contienen el eje de la Tierra. Se toma como origen el meridiano  $0^\circ$  o meridiano Greenwich por ser la ciudad por la que pasa y la que es tomada como referencia. De este modo, el globo terráqueo queda dividido en dos zonas; una hacia el Oeste del meridiano  $0^\circ$  hasta el antemeridiano y otra hacia el Este del meridiano  $0^\circ$  hasta el antemeridiano.

Los paralelos son las líneas de intersección entre la superficie terrestre y los infinitos planos perpendiculares al eje terrestre. Como en el caso de los meridianos necesitamos un origen que será el de mayor radio que llamamos ecuador. De nuevo el globo terráqueo se ve dividido en dos hemisferio uno que parte del ecuador hacia el Polo Norte y el opuesto del ecuador hacia el Polo Sur.

El par de coordenadas geográficas se denominan latitud y longitud (ver figura 3.1). La longitud ( $\lambda$ ) de un determinado punto P sobre la Tierra es el arco comprendido entre el meridiano de Greenwich y el que pasa por dicho punto P. Si se encuentra al Oeste del meridiano  $0^\circ$  habitualmente se toma como negativo y si es hacia el Este del mismo meridiano se suele tomar de valor positivo. Por lo tanto, los valores de latitud variarán entre  $-180^\circ$  y  $180^\circ$ . Así, la latitud ( $\phi$ ) de un determinado punto P



**Figura 3.1:** Sistema de Coordenadas Geográficas (Dennis Ward/UCAR)

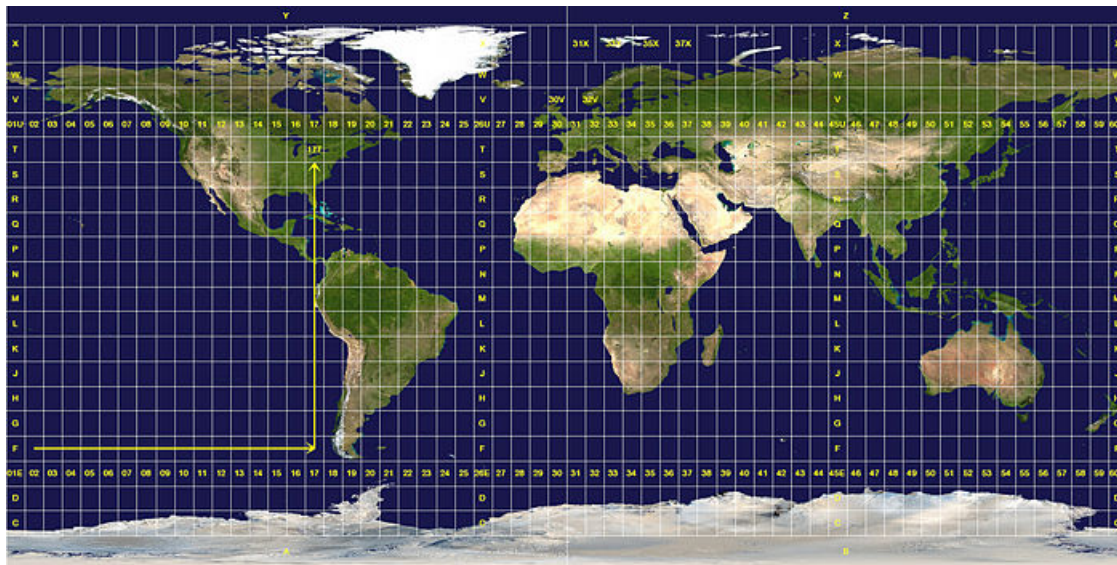
sobre la Tierra es el arco comprendido entre el plano del ecuador y el paralelo del lugar P. En este caso se toma positivo hacia el Norte y negativo hacia el Sur. Los valores de latitud van desde los  $-90^\circ$  a los  $90^\circ$ .

### La proyección y las coordenadas UTM

Las proyecciones cartográficas tratan de convertir la esfera que representa la Tierra en una superficie plana. Obviamente eso solo es posible con cierto grado de distorsión. La proyección Universal Transverse Mercator (UTM) es actualmente la más usada. Se trata de una proyección conforme, es decir, una proyección que mantiene los ángulos sin distorsión pero que distorsiona las distancias.

La proyección UTM es un sistema cilíndrico transverso conforme, tangente a la Tierra a lo largo de un meridiano que se considera como origen. Para evitar deformaciones excesivas se subdivide la superficie terrestre en 60 husos o zonas iguales de 6 grados de longitud de modo que el meridiano caiga justo en el centro de cada huso. De este modo resultan 60 proyecciones iguales, pero cada una con su respectivo meridiano central. Cada país tiene uno o más de estas zonas que cubren su territorio. Por ejemplo, las zonas correspondientes a España son las zonas 27 y 28 (Islas Canarias) y 29, 30 y 31 para la península.

Las coordenadas UTM suelen darse en la forma **HUSO+ZONA (XXXXXX,YYYYYY)**. Los campos Huso y Zona los podemos obtener del ma-



**Figura 3.2:** Husos y zonas UTM para todo el planeta

pa que aparece en la figura 3.2, pongamos por ejemplo 30T. La coordenada Este (X, Easting) puede tomar valores entre 0 km. y 1.000 km. usándose para su representación como máximo 6 cifras ya que las coordenadas UTM se expresan en metros. La coordenada Norte (Y, Northing) toman valores entre 0 y un valor menor que 10.000 km. Por lo tanto, solo podremos usar 7 cifras para expresarlo.

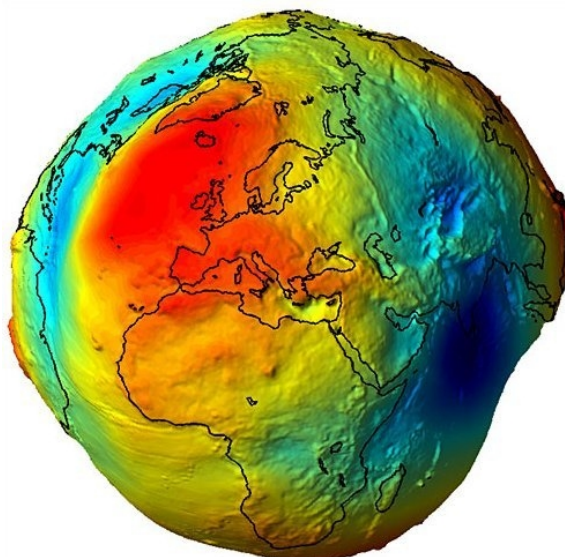
### 3.1.2. Geoide y Elipsoide

Como la tierra no es una esfera perfecta es necesario en Geodesia definir una serie de conceptos que permitan un mejor ajuste a la zona del planeta donde estemos trabajando. Llamamos geoide a la superficie equipotencial de gravedad nominal a nivel del mar. Obviamente, debido a las variaciones de la gravedad terrestre, la forma del geoide es irregular como puede verse en la figura 3.3.

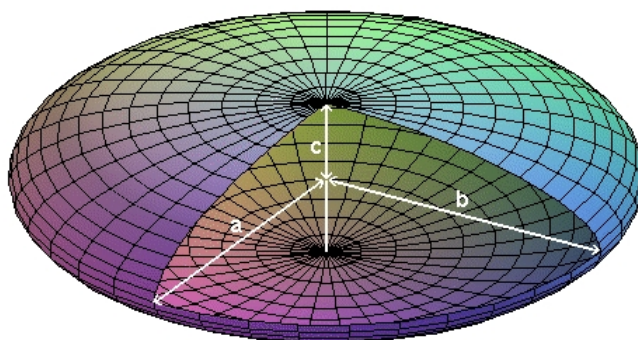
Definimos elipsoide como la superficie matemática (figura 3.4) que se obtiene al hacer girar una elipse sobre el eje polar terrestre. Las dimensiones de la elipse se eligen de forma que se ajusten de la mejor forma posible al geoide. Sobre la elipse (figura 3.5) se definen los parámetros que la conforman: su centro, el semieje mayor  $a$ , el semieje menor  $b$  y el aplastamiento  $f$ . Este último se puede expresar como:

$$f = 1 - \frac{b}{a} \quad (3.1)$$





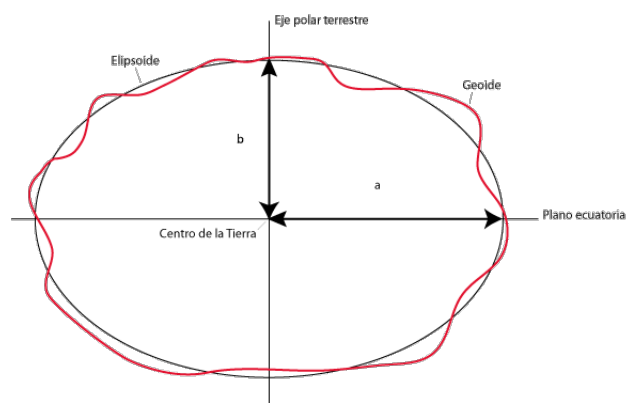
**Figura 3.3:** Representación gráfica del Geoide, Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE), <http://www.csr.utexas.edu/grace/>



**Figura 3.4:** Representación gráfica del Elipsoide

Los parámetros elipsoidales de los diferentes elipsoides pueden verse en la tabla 3.1. A partir de estos conceptos podemos definir el Datum, que está formado por un elipsoide y un punto de referencia -llamado Punto Fundamental-, en el que la Tierra y el elipsoide son tangentes.

De este punto se han de especificar longitud, latitud y el acimut de una dirección desde él establecida. En el Punto Fundamental las coordenadas astronómicas (las del elipsoide) y las geodésicas (las de la Tierra) son idénticas.



**Figura 3.5:** Relación entre el elipsoide y el geoide

| Elipsoide               | Semieje a (m) | Semieje b (m)     | Aplanamiento f  |
|-------------------------|---------------|-------------------|-----------------|
| GRS80                   | 6378137,0     | 6356752,314140356 | 1/298,257222101 |
| WGS84                   | 6378137,0     | 6356752,314245179 | 1/298,257223563 |
| Internacional (Hayford) | 6378388,0     | 6356911,946127946 | 1/297,000000000 |

**Tabla 3.1:** Parámetros elipsódicos de los principales elipsoides de referencia (EPSG, 2011)

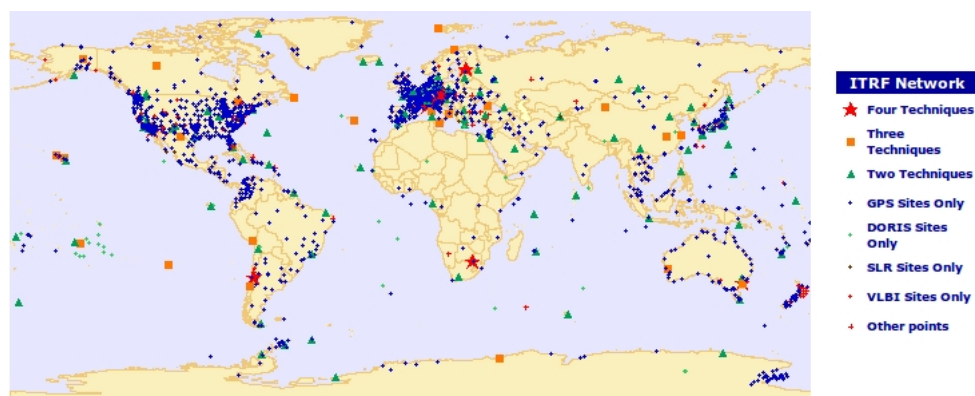
Actualmente los Datum más utilizados son el WGS84 (World Geodetic System) que se basa en el elipsoide del mismo nombre, el ED50 (European Datum 1950) basado en el Internacional (Hayford) y el ETRS89 (European Terrestrial Reference System 1989) basado en el elipsoide GRS80. Aunque podemos encontrarnos diversos datums, sobretudo el WGS84, hay que tener en cuenta que el Datum oficial del Instituto Geográfico Nacional (IGN) es el ETRS89 para Península y Baleares y el REGCAN95 para las islas Canarias.

### 3.1.3. Sistemas de Referencia

Un sistema de referencia viene definido por un sistema de coordenadas, así como todo lo necesario para establecer la posición y el movimiento de objetos en el espacio y el tiempo. Describiremos dos sistemas de referencia internacionales elegidos por convención, uno terrestre, el Sistema de Referencia Convencional Terrestre (ITRS) y, otro celeste, el Sistema de Referencia Convencional Celeste (ICRS). Por último, describiremos otros dos sistemas de coordenadas por su utilidad y uso extendido, el Sistema de Referencia WGS84 y el Sistema Cartesiano Espacial Geocéntrico.

#### Sistema de Referencia Convencional Terrestre (ITRS)

El International Earth Rotation and Reference Systems Service (IERS), (IERS, 1987), es la organización actual encargada de definir, realizar y promover el Sistema de Referencia Convencional Terrestre, así como del Marco de Referencia Terrestre Internacional (ITRF) de acuerdo a la definición adoptada en la XX Asamblea General de la Unión Internacional de Geodesia y Geofísica celebrada en Viena el año 1991 (IAG, 1992). El sistema de referencia ITRS posee una serie de características:



**Figura 3.6:** Red mundial de estaciones ITRF, <http://itrf.ensg.ign.fr/>

- Es un sistema geocéntrico, definiéndose el geocentro como el centro de masas de la Tierra incluyendo las masas oceánicas y atmosféricas.
- La escala queda definida por el huso del Tiempo Coordinado Geocéntrico (TCG) para un marco de referencia local en el contexto de la teoría de la relatividad general, en concordancia con las resoluciones IAU y IUGG de 1991.

- Su orientación fue inicialmente dada por el Bureau International de l'Heure (BIH), 1984.0.
- La evolución temporal de las coordenadas de los puntos sobre la corteza terrestre se define de modo que no se generen rotaciones globales que se añadan a la propia del planeta.

El Marco de Referencia Terrestre Internacional (ITRF, 1991), es la materialización del ITRS. El procedimiento actual consiste en combinar diferentes soluciones de Marcos de Referencia Terrestres usando observaciones de técnicas geodésicas espaciales: VLBI, LLR, SLR, GPS y DORIS. Estos Marcos de Referencia individuales miden constantemente las posiciones y velocidades de ciertas estaciones (ver figura 3.6). Normalmente, las soluciones ITRF son publicadas casi anualmente por el ITRS-PC (ITRS Product Center) como una nota técnica en el IERS.

### **Sistema de Referencia Convencional Celeste (ICRS)**

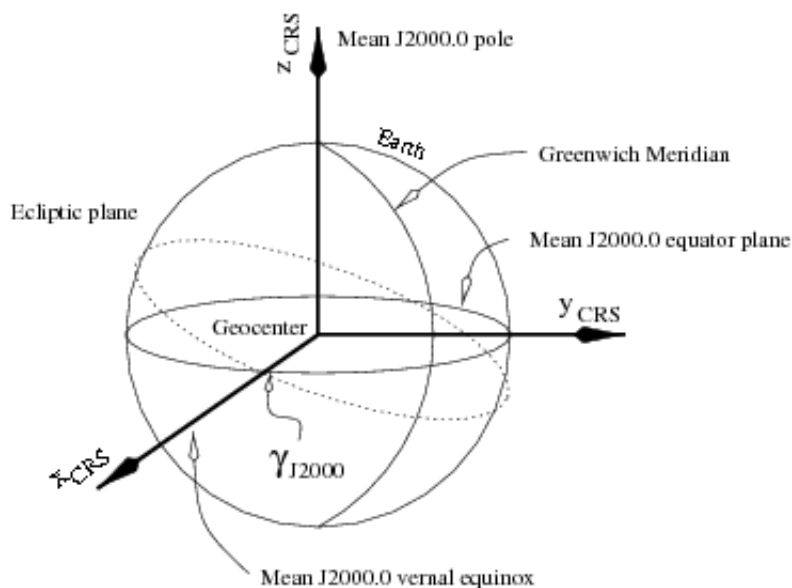
Por otro lado, el Sistema de Referencia Convencional Celeste se definió en la XXIII Asamblea General de la Unión Astronómica Internacional en Japón en el año 1997, sustituyendo al FK5 (Fricke y otros, 1991). Se trata de un sistema inercial convencional, cartesiano, tridimensional cuyos ejes se definen de la siguiente manera:

- Origen: el centro de masa terrestre.
- Eje  $z_0$ : coincidente con el eje de rotación terrestre para la época J2000.0. (Para ver la definición de la época J2000.0 ver sección 3.4.5)
- Eje  $x_0$ : coincidente con el punto Aries (equinoccio vernal) para el 1 de Enero, 12 horas del año 2000. (Para ver la definición del punto Aries ver figura 3.11)
- Eje  $y_0$ : Perpendicular a  $z_0$  y  $x_0$ .

### **Sistema de Referencia WGS84**

Para este sistema el origen (O) se centra en el centro de masas terrestre, también llamado geocentro. Y los tres ejes que conforman el sistema de referencia se definen

- Eje Z. Coincide con el Polo Convencional Terrestre (época 1984.0).



**Figura 3.7:** Sistema de referencia ICRS. (ESA-Navipedia)

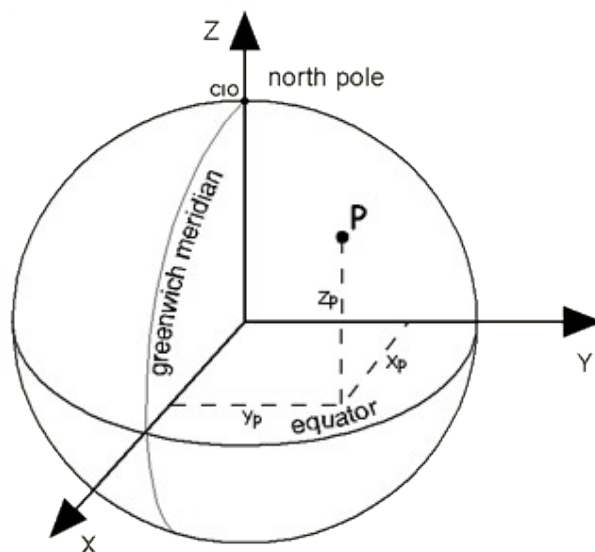
- Eje X. Lo forma la intersección del meridiano origen de las longitudes para la época 1984.0 y el plano del Ecuador.
- Eje Y. Eje perpendicular a los ejes Z y X.

Con el mismo nombre, WGS84, tenemos un elipsoide asociado. Su centro es el geocentro, punto O y con eje de revolución OZ, los parámetros de este elipsoide aparecen en la tabla 3.1.

### Sistema Cartesiano Espacial Geocéntrico

Se trata de un sistema de referencia fijo a la Tierra, convencional y dextrógiro. Su origen es el centro de masas terrestre, generalmente incluyendo atmósfera y océanos. El resto de elementos se definen de la siguiente manera (figura 3.8):

- El eje X coincide con el eje de rotación medio.
- Su plano XZ corresponde con un meridiano medio de Greenwich.
- Su plano XY corresponde con un ecuador medio.



**Figura 3.8:** Sistema cartesiano espacial geocéntrico

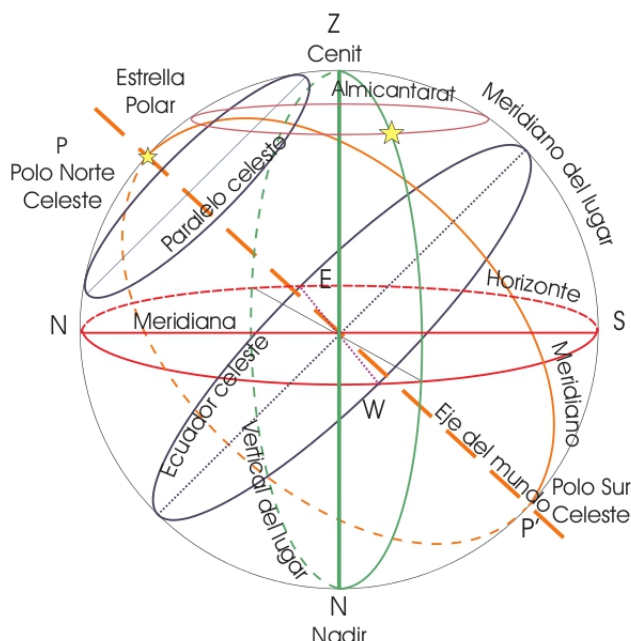
### 3.1.4. Sistemas de Coordenadas Astronómicas

Para posicionar y localizar el conjunto de cuerpos celestes no necesitamos conocer su distancia real respecto del observador. En cambio, será imprescindible un sistema de referencia que nos permita fijar el marco donde ubicaremos los cuerpos celestes en el espacio tridimensional. Para ello comenzaremos definiendo el concepto de esfera celeste. Se define la esfera celeste como una esfera imaginaria de radio arbitrario que tiene como centro el observador y sobre la cual se proyectan los astros. Sobre esta esfera imaginaria definiremos el resto de conceptos necesarios.

Para definir posteriormente los sistemas de coordenadas será necesario ahora hablar sobre la geometría de la esfera celeste (Asín, 1990; Klimishin, 1991), que podemos ver resumida gráficamente en la figura 3.9.

Como es obvio cualquier plano que corte a la esfera resultará un círculo. Llamaremos círculo máximo al resultado de la intersección de la esfera celeste con un plano que pasa por su centro. Este plano divide la esfera en dos hemisferios idénticos. Si el círculo es otro lo llamaremos círculo mínimo.

Si trazamos una línea vertical que pase por el centro de la esfera estaremos marcando la dirección de la vertical o vertical del lugar. Esta es la dirección que marcaría el hilo de una plomada. La vertical del lugar corta la esfera celeste en dos puntos, el superior es el Cénit y el inferior es el Nadir. Todo plano que contiene la línea

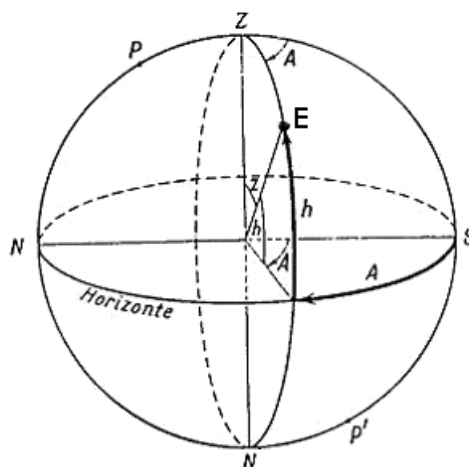


**Figura 3.9:** Geometría de la Esfera Celeste

cénit-nadir se le llama plano vertical. Al círculo máximo que es perpendicular a la línea que marca la dirección de la vertical se le llama horizonte matemático o simplemente horizonte. Siendo todo círculo mínimo paralelo al horizonte denominado Almicantarat.

El eje de rotación terrestre corta la esfera celeste en dos puntos que se denominan polos celestes. La línea que une estos dos polos es el Eje del mundo. El polo respecto del cual la esfera celeste gira en contra de las manecillas del reloj, para un observador centrado en la esfera, es el Polo Celeste Norte. El opuesto, por lo tanto, es el Polo Celeste Sur. Del mismo modo el ecuador terrestre corta la esfera celeste en un plano que llamaremos Ecuador celeste que divide a la esfera en dos hemisferios, uno Norte correspondiente al Polo Celeste Norte y otro Sur correspondiente al polo celeste opuesto. El plano del Ecuador celeste interseca al plano del horizonte en dos puntos el punto Este (E) y el Oeste (W). Cualquier círculo menor paralelo al Ecuador celeste se denomina paralelo celeste. Al círculo máximo que pasa por los polos celestes y el cenit del observador se le denomina Meridiano celeste.

El meridiano del lugar corta al plano del horizonte en una línea que nos marca la dirección del Norte verdadero. Se trata de la meridiana o línea Norte-Sur que es vital en los estudios topográficos.



**Figura 3.10:** Sistema de Coordenadas Horizontales

En un espacio tridimensional son necesarias un total de tres coordenadas para fijar la posición de un punto. Sin embargo los sistemas de coordenadas astronómicos solo requieren dos de ellas ya que, como hemos comentado más arriba, la distancia real del objeto respecto del observador se desprecia. Para definir un sistema de coordenadas necesitamos un plano fundamental, un punto fundamental y un sentido de medida de los ángulos. En Astronomía se usan el Horizonte, el Ecuador y la Eclíptica como planos fundamentales. Si tomamos el Horizonte como plano fundamental tendremos coordenadas horizontales; si tomamos el Ecuador, coordenadas ecuatoriales y coordenadas eclípticas en el caso de que el plano fundamental sea la Eclíptica.

Pasamos, a continuación, a describir cada uno de los sistemas de coordenadas astronómicos.

### Sistema de Coordenadas Horizontales

En este sistema de coordenadas el plano fundamental es el horizonte, definido anteriormente. Como primera coordenada se toma el punto Sur, uno de los extremos de la meridiana con el sentido positivo de los ángulos el contrario al sentido de las agujas del reloj. Con ello nos queda completamente definido el sistema de coordenadas propiamente dicho. En él cada punto vendrá definido por las coordenadas de acimut y altura.



A una estrella E (figura 3.10) le corresponderá en cada instante un vertical que será el que pasando por la recta ZN pase por el centro de la estrella. Se denomina acimut astronómico al ángulo contado desde el punto Sur hasta la vertical del astro en sentido hacia el Oeste. En geodesia los acimuts se miden del el punto Norte desde  $0^\circ$  a  $360^\circ$  en sentido Oeste, estos acimuts son denominados acimuts geodésicos a diferencia de los acimuts astronómicos que hemos definido previamente. La relación entre ellos es:

$$A' = A \pm 180^\circ \quad (3.2)$$

Siendo  $A'$  los acimuts geodésicos y  $A$  los astronómicos. Se toma el signo negativo apara  $A < 180^\circ$  y positivo si  $A > 180^\circ$ .

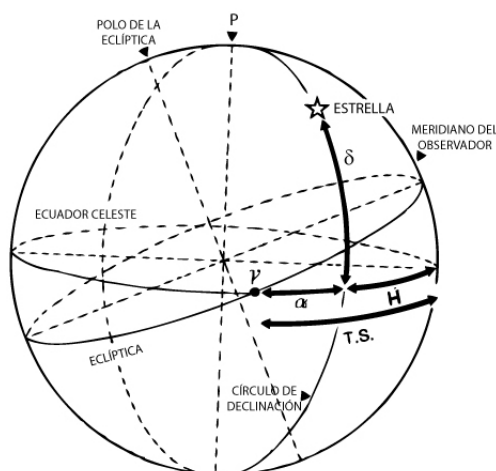
La altura ( $h$ ) es el ángulo contado desde el horizonte hacia el cénit para estrellas que se encuentren sobre el horizonte, en cuyo caso será positivo, y hacia el nadir para estrellas que se encuentren bajo horizonte donde será de un valor negativo. Otra forma de dar esta segunda coordenada es la distancia cenital ( $z$ ) que sería el arco ZE siempre contado desde el cénit.

Los valores de acimut son siempre positivos entre  $0^\circ$  y  $360^\circ$ , la altura recorre valores entre  $90^\circ$  y  $-90^\circ$  y por último la distancia cenital valores positivos entre  $0^\circ$  y  $180^\circ$ .

Sin duda, este sistema es el más simple y el de mayor utilidad en toma de datos directa, sobretodo en campaña, ya que se pueden medir directa y rápidamente mediante instrumentos como los teodolitos. Sin embargo, su carácter local supone una desventaja muy importante.

### Sistema de Coordenadas Ecuatoriales

Se pueden definir dos sistemas de coordenadas ecuatoriales (figura 3.11). En el llamado sistema de coordenadas ecuatoriales absolutas las coordenadas de un astro vienen dadas por la ascensión recta ( $\alpha$ ) y la declinación ( $\delta$ ). En cambio si nos referimos al sistema de coordenadas ecuatoriales horarias o locales, las coordenadas de la estrella vendrán dadas en función del ángulo horario ( $H$ ) y la declinación ( $\delta$ ). Habitualmente cuando se habla del sistema ecuatorial se entiende que se habla del sistema ecuatorial absoluto y que nos referimos al ecuatorial horario si hablamos del sistema de coordenadas horario.



**Figura 3.11:** *Sistemas de Coordenadas Ecuatoriales absoluto ( $\alpha, \delta$ ) y horario ( $H, \delta$ )*

El sistema de coordenadas ecuatoriales absolutas (Asín, 1990), está formado por el Ecuador como plano fundamental y el punto Aries como primera coordenada y el sentido positivo de los ángulos el retrógrado.

El Sol realiza su movimiento anual a lo largo del círculo máximo llamado eclíptica  $\varepsilon$  que se encuentra inclinado  $23^{\circ}26'$  respecto del ecuador celeste. El diámetro perpendicular al plano de la eclíptica se denomina eje de la eclíptica que corta la superficie de la esfera celeste en dos puntos, el polo norte de la eclíptica en el hemisferio boreal y el polo sur de la eclíptica en el hemisferio austral (Bakulin y otros, 1987; Klimishin, 1991).

La eclíptica corta al ecuador celeste en dos puntos: en el punto del equinoccio de primavera  $\gamma$  -también llamado punto Aries o punto vernal- y en el punto del equinoccio de otoño  $\varpi$ . En el punto del equinoccio de primavera el Sol cruza el ecuador celeste pasando del hemisferio austral al boreal. Ocurre lo contrario en el punto del equinoccio de otoño.

Los puntos de la eclíptica que están separados  $90^{\circ}$  de los puntos del equinoccio son denominados puntos del solsticio, del solsticio de verano o vernal en el hemisferio norte y del solsticio de invierno o hiernal en el hemisferio sur. El círculo máximo que pasa por los polos de la eclíptica y la estrella E se denomina círculo de latitud del astro E.

La ascensión recta  $\alpha$  es el arco sobre la ecuador a partir del punto  $\gamma$  hasta el meridiano de la estrella E en sentido contrario a las agujas del reloj. La declinación  $\delta$  es el arco de meridiano desde el Ecuador a la estrella.

La declinación comprende ángulos que van en el intervalo de  $-90^\circ$  a  $90^\circ$ . La ascensión recta, a su vez, puede tomar valores entre  $0^\circ$  y  $360^\circ$  si tomamos unidades angulares o entre  $0^h$  y  $24^h$  si se mide en unidades de temporales.

Estas coordenadas no varían con la rotación diurna, ya que se miden desde puntos del ecuador celeste que son solidarios con la rotación terrestre, ni con el lugar de observación. Es por ello que se denomina sistema ecuatorial absoluto y es con el que se elaboran los catálogos y mapas estelares.

El sistema ecuatorial horario se diferencia únicamente en el ángulo horario (H) que se define como el arco de ecuador celeste contado desde el punto de intersección del ecuador con el meridiano hasta el círculo horario del astro, en sentido horario. Puede tomar valores entre las  $0^h$  y las  $24^h$  medido en unidades de tiempo.

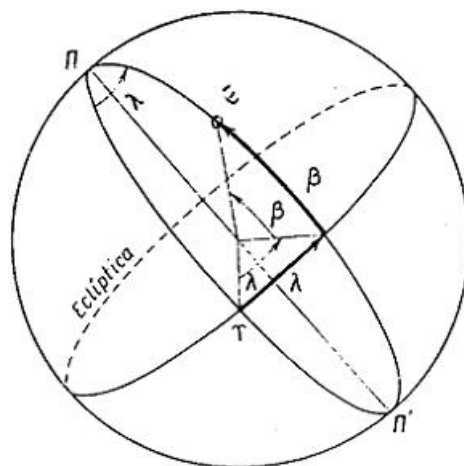
Por último, se define como Tiempo sidéreo local la suma de la ascensión recta y el ángulo horario. Así para  $H=0$  tendremos que la estrella pasa por el meridiano en su punto más alto y, por lo tanto, la ascensión recta será igual a tiempo sidéreo. Ello se utiliza en los observatorios astronómicos para conocer el mejor momento de observación de un astro.

$$TSL = \alpha + H \quad (3.3)$$

### Sistema de Coordenadas Eclípticas

Las coordenadas eclípticas (figura 3.12) están definidas por la eclíptica y el punto del equinoccio de primavera. El sentido positivo de los ángulos es contrario al que marcan las agujas de un reloj. En este sistema de coordenadas un astro está definido por las coordenadas longitud eclíptica  $\lambda$  y la latitud eclíptica  $\beta$ .

Se define la longitud eclíptica como el arco de eclíptica contado desde el punto  $\gamma$  hasta el máximo de longitud que pasa por el centro del astro. La latitud celeste de un astro es el arco máximo de longitud contado desde la eclíptica hasta el centro del astro. Las coordenadas eclípticas se dan en unidades angulares, de  $0^\circ$  a  $360^\circ$  la longitud eclíptica y la latitud entre  $0^\circ$  y  $\pm 90^\circ$ .



**Figura 3.12:** Sistema de Coordenadas Eclípticas

| Sistema             | Plano de referencia   | Coordenadas   |
|---------------------|-----------------------|---|
| Horizontal          | Ecuador terrestre     | $-90^\circ \leq h \leq 90^\circ, 0^\circ \leq A \leq 360^\circ$           |
| Ecuatorial absoluto | Ecuador celeste       | $-90^\circ \leq \delta \leq 90^\circ, 0^h \leq \alpha \leq 24^h$          |
| Ecuatorial horario  | Ecuador celeste       | $-90^\circ \leq \delta \leq 90^\circ, 0^h \leq H \leq 24^h$               |
| Eclíptico           | Plano de la Eclíptica | $-90^\circ \leq \beta \leq 90^\circ, 0^\circ \leq \lambda \leq 360^\circ$ |

**Tabla 3.2:** Resumen de los sistemas de coordenadas

Este sistema es el más apropiado para el estudio del movimiento de la Luna y los planetas. En la antigüedad y en la Edad Media se daba gran importancia al plano de la eclíptica ya que era el que parecía gobernar el movimiento planetario, lunar y solar. Por ello, los almanaques fueron realizados en este sistema de coordenadas hasta mediados del siglo XVII, con la aparición y la proliferación de los telescopios junto con una montura apropiada mostraron la utilidad del sistema ecuatorial de coordenadas.

## 3.2. Determinación del acimut por métodos astrogeodésicos

En los estudios arqueoastronómicos uno de los valores que debemos ser capaces de conocer a través de medidas en el campo es el acimut. El acimut de una dirección determinada quedará fijada por el conocimiento del ángulo acimutal que dicha dirección forma con otra dirección de acimut conocido. A continuación veremos los métodos principales para el cálculo del acimut, una vista general de estos métodos puede consultarse en Wolf y Ghilani (2002).

### 3.2.1. Mediante observación a la Polar

Si proyectamos el plano del horizonte según la figura 3.13, tendremos el punto O desde el que tomamos las medidas,  $A_p$  el acimut de la estrella P y L la línea cuya dirección queremos determinar el acimut, A. Según esta figura podemos calcular el acimut como:

$$A = A_p + POL \quad (3.4)$$

Mediante cálculos astronómicos nos es posible conocer el acimut de cualquier estrella P, cuyo acimut  $A_p$  queremos calcular. Éste vendrá determinado por la expresión:

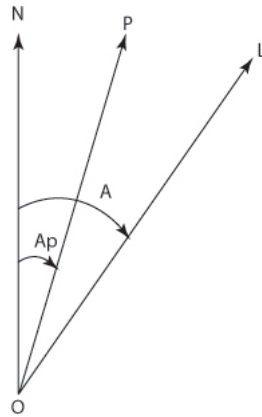
$$\tan A_p = \frac{\sin H \cos \delta}{\sin \phi \cos H \cos \delta - \cos \phi \sin \delta} \quad (3.5)$$

Donde H es el ángulo horario, como aparece definido en la ecuación 3.3, es la diferencia entre el tiempo sidéreo local, en este caso denotado por  $\theta$  y la ascensión recta.

$$H = \theta - \alpha \quad (3.6)$$

Habitualmente se calcula el tiempo sidéreo local a partir del tiempo universal mediante la fórmula siguiente:

$$\theta = \theta_0 + 1,002737909 \cdot TU + \lambda \quad (3.7)$$



**Figura 3.13:** Relación de acimuts a determinar

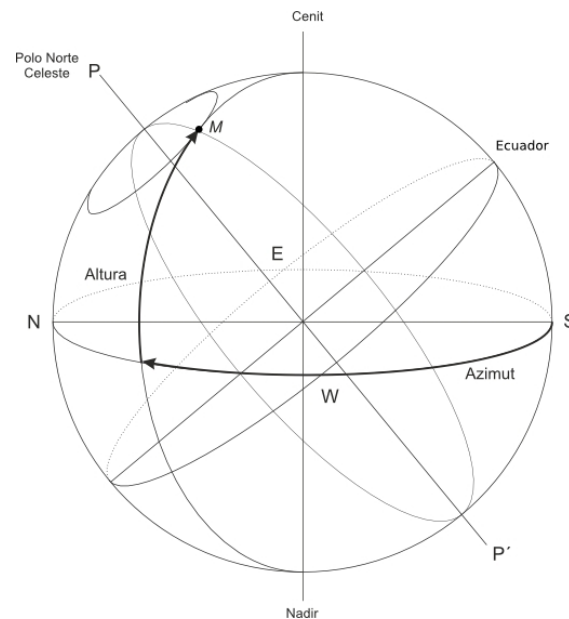
Con TU el tiempo universal y  $\theta_0$  el tiempo sidéreo en Greenwich a las 0 horas de tiempo universal del día que se considera. Tanto para calcular este último dato como las coordenadas de ascensión recta y declinación necesarias para calcular el valor del acimut en 3.5 es necesario obtenerlas de un anuario astronómico. Por ejemplo, el que pone a disposición de los usuarios de internet el Observatorio Astronómico Naval de los Estados Unidos de América (USNO) en la página web: <http://www.usno.navy.mil/USNO>, como puede verse en la figura 3.14. Es obvio que no se hallará el acimut con la misma precisión con este método si variamos la estrella observada y el momento de su observación. Derivando de 3.5, teniendo en cuenta que los errores que se cometen en ascensión recta y declinación son nulos por ser datos que se obtienen de un catálogo, podemos hallar el error cometido mediante este método:

$$\Delta A_p = \sin A_p \cot z \Delta \phi + \cos \phi (\tan \phi - \cos A \cot z) \Delta H \quad (3.8)$$

De 3.8 podemos concluir que nos van a interesar estrellas con altas declinaciones en el momento que se encuentran en sus máximas digresiones (figura 3.15), es decir, estrellas circumpolares en el momento en el que la vertical del astro es perpendicular al círculo horario. Por otro lado  $\Delta \phi$  indica que necesitamos un  $A_p$  de  $0^\circ$  o  $180^\circ$  ya que su seno debe ser mínimo. Si conocemos bien  $\phi$ , el error viene dado por el error cometido en H que es la precisión horaria. Todo ello hace que se suela to-

| Celestial Navigation Data for 2012 Oct 23 at 0:00:00 UT |              |          |          |           |                      |      |      |       |  |
|---|--------------|----------|----------|-----------|----------------------|------|------|-------|--|
| For Assumed Position:                                   |              |          |          | Latitude  | N                    | 40   | 00.0 |       |  |
|   |              |          |          | Longitude | W                    | 3    | 00.0 |       |  |
| Object  | Almanac Data |          |          |           | Altitude Corrections |      |      |       |  |
|   | GHA          | Dec      | Hc       | Zn        | Refr                 | SD   | PA   | Sum   |  |
|   | ° ' "        | ° ' "    | ° ' "    | °         | ' "                  | ' "  | ' "  | ' "   |  |
| MOON  | 80 03.4      | S12 40.9 | + 1 30.3 | 252.0     | -26.6                | 15.7 | 57.7 | 46.8  |  |
| JUPITER   | 317 07.6     | N21 51.2 | +47 14.9 | 101.1     | -0.9                 | 0.4  | 0.0  | -0.5  |  |
| ACAMAR  | 347 07.2     | S40 15.1 | + 8 27.2 | 167.8     | -6.2                 | 0.0  | 0.0  | -6.2  |  |
| ALDEBARA  | 322 38.5     | N16 32.1 | +47 56.9 | 112.1     | -0.9                 | 0.0  | 0.0  | -0.9  |  |
| ALIOTH  | 198 10.6     | N55 53.3 | + 6 45.2 | 8.5       | -7.6                 | 0.0  | 0.0  | -7.6  |  |
| ALNILAM   | 307 35.5     | S 1 11.6 | +24 55.5 | 114.8     | -2.1                 | 0.0  | 0.0  | -2.1  |  |
| ALPHERAT  | 29 32.6      | N29 09.9 | +65 44.2 | 251.7     | -0.4                 | 0.0  | 0.0  | -0.4  |  |
| ALTAIR  | 93 57.6      | N 8 54.5 | + 4 58.9 | 277.5     | -9.7                 | 0.0  | 0.0  | -9.7  |  |
| ANKAA   | 25 04.7      | S42 14.1 | + 5 21.9 | 196.2     | -9.1                 | 0.0  | 0.0  | -9.1  |  |
| BELLATRI  | 310 21.2     | N 6 21.6 | +32 13.0 | 111.0     | -1.6                 | 0.0  | 0.0  | -1.6  |  |
| BETELGEU  | 302 50.5     | N 7 24.5 | +27 26.7 | 104.2     | -1.9                 | 0.0  | 0.0  | -1.9  |  |
| CAPELLA   | 312 23.7     | N46 00.4 | +53 08.5 | 63.5      | -0.7                 | 0.0  | 0.0  | -0.7  |  |
| DENEK   | 81 20.6      | N45 20.0 | +34 28.1 | 303.4     | -1.4                 | 0.0  | 0.0  | -1.4  |  |
| DIPHDA  | 20 44.9      | S17 54.8 | +29 46.1 | 199.5     | -1.7                 | 0.0  | 0.0  | -1.7  |  |
| DUBHE   | 225 41.6     | N61 40.6 | +17 22.8 | 19.7      | -3.1                 | 0.0  | 0.0  | -3.1  |  |
| ELNATH  | 310 01.9     | N28 36.9 | +45 28.0 | 87.8      | -1.0                 | 0.0  | 0.0  | -1.0  |  |
| ELTANIN   | 122 35.6     | N51 29.6 | +15 30.9 | 325.8     | -3.5                 | 0.0  | 0.0  | -3.5  |  |
| ENIF  | 65 36.4      | N 9 56.3 | +27 15.9 | 259.7     | -1.9                 | 0.0  | 0.0  | -1.9  |  |
| FOMALHAU  | 47 13.2      | S29 33.2 | + 9 14.3 | 217.9     | -5.7                 | 0.0  | 0.0  | -5.7  |  |
| HAMAL   | 359 49.8     | N23 31.5 | +73 18.6 | 169.8     | -0.3                 | 0.0  | 0.0  | -0.3  |  |
| KOCHAB  | 169 10.1     | N74 06.3 | +24 29.2 | 355.9     | -2.2                 | 0.0  | 0.0  | -2.2  |  |
| MARKAB  | 45 27.5      | N15 16.7 | +45 36.5 | 248.6     | -1.0                 | 0.0  | 0.0  | -1.0  |  |
| MENKAR  | 346 04.1     | N 4 08.5 | +51 01.1 | 152.5     | -0.8                 | 0.0  | 0.0  | -0.8  |  |
| MIRFAK  | 340 29.4     | N49 54.3 | +71 21.2 | 50.5      | -0.3                 | 0.0  | 0.0  | -0.3  |  |
| POLLUX  | 275 17.2     | N27 59.5 | +19 11.3 | 69.1      | -2.8                 | 0.0  | 0.0  | -2.8  |  |
| PROCYON   | 276 49.1     | N 5 11.5 | + 6 15.3 | 88.5      | -8.1                 | 0.0  | 0.0  | -8.1  |  |
| RIGEL   | 313 01.2     | S 8 11.2 | +23 19.9 | 124.4     | -2.3                 | 0.0  | 0.0  | -2.3  |  |
| SCHEDAR   | 21 29.4      | N56 36.7 | +69 28.3 | 330.2     | -0.4                 | 0.0  | 0.0  | -0.4  |  |
| SIRIUS  | 290 22.9     | S16 44.0 | + 1 57.2 | 113.9     | -17.1                | 0.0  | 0.0  | -17.1 |  |
| VEGA  | 112 28.3     | N38 48.1 | +11 45.5 | 311.4     | -4.6                 | 0.0  | 0.0  | -4.6  |  |
| POLARIS   | 349 22.4     | N89 19.1 | +40 39.7 | 0.2       | -1.2                 | 0.0  | 0.0  | -1.2  |  |
| ARIES   | 31 48.9      |          |          |           |                      |      |      |       |  |
| Moon phase is waxing gibbous, 59% illuminated           |              |          |          |           |                      |      |      |       |  |

**Figura 3.14:** Ejemplo de datos que se obtienen de la página web del USNO, la primera columna es  $\Theta_0$  y la segunda la declinación para el día, lugar y hora elegidos para cada uno de los objetos celestes que aparecen.



**Figura 3.15:** *Punto de máxima digresion (M)*

mar como estrella de referencia la Estrella Polar ( $\alpha$ -Ursae Minoris) en sus máximas digresiones, para latitudes entre  $15^\circ$  y  $55^\circ$  grados.

$$POL = L_{ref} - L_p \quad (3.9)$$

El ángulo POL se puede medir por medio de un teodolito y será el resultado de la diferencia entre las lecturas de la referencia y la estrella Polar (ecuación 3.9). Hay que tener en cuenta que si la lectura de la referencia es mayor que la de la estrella Polar debemos sumar  $360^\circ$  a la primera lectura.

Existen una variedad de efectos sistemáticos, instrumentales y de observación que afectan a las medidas de ángulos acimutales que aquí solamente se citaran, si se requiere mayor detalle puede encontrarse una descripción en profundidad en (Sevilla, 1979). Los principales son:

- Verticalidad del eje principal del instrumento.
- Horizontalidad del eje secundario del instrumento.
- Colimación del anteojo.
- Excentricidad de ejes.



- *Refracción atmosférica y lateral.*
- *Torsión del pilar de observación.*

Las observaciones con teodolito suelen hacerse mediante series que transcurren del siguiente modo:

- **Punterías a la referencia:** Tomar dos lecturas horizontales de la referencia con el teodolito alternando círculo directo (CD) y círculo inverso (CI). Obviamente todas las lecturas que se hagan en CI deben pasarse a CD.
- **Punterías a la estrella Polar:** Para un correcto cálculo, serán necesarias al menos 12 lecturas de la Polar, alternando CD y CI. Apuntando por cada puntería la hora en tiempo universal (UT).
- **Punterías a la referencia:** Tomar otras dos lecturas horizontales de la referencia alternando CD y CI.

A partir de 3.4 y 3.9 podemos calcular el acimut como sigue:

$$A_i = A_{p_i} + L_{ref_i} - L_{p_i} = L_{ref_i} + (A_{p_i} - L_{p_i}) \quad (3.10)$$

Donde  $A_{p_i}$  son los acimuts de la estrella Polar en los instantes  $t_i$ , que calculamos independientemente. Y  $L_{ref_i}$ ,  $L_{p_i}$  las lecturas a la referencia y a la Polar respectivamente. Las lecturas a la referencia deben variar muy poco ya que la referencia es fija, en cambio las lecturas a la polar varían debido al movimiento diurno. Por ello, en el cálculo puede determinarse la lectura media a la referencia previamente:

$$L_{ref} = \frac{\sum_{i=1}^4 L_{ref_i}}{4} \quad (3.11)$$

Y después de los acimuts:

$$A_i = L_{ref} + (A_{p_i} - L_{p_i}) \quad (3.12)$$

Por lo tanto, si llamamos  $n$  al número de pares de lecturas a la polar (al menos 6), el valor del acimut promedio lo podremos considerar como el valor más probable del acimut:

$$\bar{A} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i}{n} \quad (3.13)$$

Con  $s$ , error cuadrático medio de cada medida y  $s_A$  error cuadrático medio de la media:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (A - \bar{A})^2}{n - 1}} \quad (3.14)$$

$$s_A = \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (3.15)$$

Ya solo quedaría corregir el valor del acimut con los valores de corrección por movimiento del polo, por altitud del punto visado, curvatura de la plomada, excentricidad de la estación y excentricidad de la referencia (Sevilla, 1979). No hay que olvidar que por el método expuesto nos resulta el acimut astronómico, si necesitamos el acimut geodésico deberemos hacer uso de la expresión 3.2.

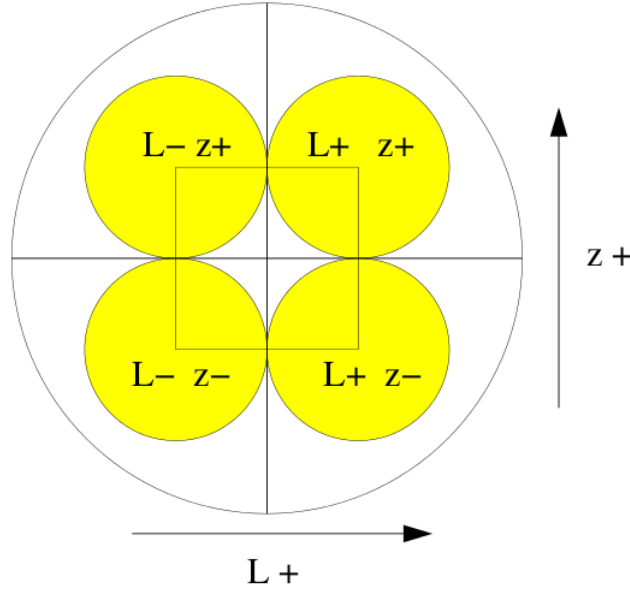
### 3.2.2. Mediante observación al Sol

En el apartado anterior se ha usado la Estrella Polar pero el método es igualmente válido para cualquier astro, aunque las precisiones variarán mucho dependiendo el astro que usemos. Así, es perfectamente posible el cálculo del acimut mediante observaciones solares. Al usar este método y tomar las alturas del Sol no se requiere la utilización de la hora. En cambio, deberemos tener en cuenta la corrección por semidiámetro y refracción.

En este caso proyectaremos la imagen solar sobre una pantalla a través del teodolito. Enfocaremos la imagen para que aparezcan simultáneamente la imagen del disco solar y el reticulado del ocular. Las observaciones se realizan igual que en el apartado anterior salvo que, como el centro del disco solar no es exactamente identificable, las punterías se realizan mediante tangencias del disco solar respecto a los hilos reticulares del ocular según la figura 3.16.

Las lecturas del Sol deben corregirse por el valor del semidiámetro solar,  $s_{\odot}$  del momento de observación. Como en el caso de la Estrella Polar, las ecuaciones se refieren a lecturas de CD, es decir, debemos transformar las lecturas de CI a sus equivalente de CD. Si denotamos como  $z_i^{obs}$  la lectura vertical (distancia cenital) y  $L_i^{obs}$  la lectura horizontal observadas del Sol, sus correcciones son:

$$z_i = z_i^{obs} \pm s_{\odot} \quad (3.16)$$



**Figura 3.16:** Las cuatro posibilidades tangencias del limbo solar con el reticulado. Se supone la imagen desde el teodolito tal y como queda proyectada la imagen del disco solar.

$$L_i = L_i^{obs} \pm \frac{S_{\odot}}{\sin z_i^{obs}} \quad (3.17)$$

Donde los signos deben elegirse teniendo en cuenta la figura 3.16. De nuevo como en el caso anterior, las mediciones a la referencia variarán poco pero las medidas al Sol variarán debido al movimiento diurno debiendo crecer o decrecer dependiendo de si el Sol se encuentra al Este o al Oeste del meridiano. Por lo tanto, para la referencia podemos usar de nuevo la relación 3.11 y para las medidas necesitaremos tratarlas individualmente.

La distancia cenital debe ser corregida por refracción mediante la ecuación empírica de Bradley (Maskelyne, 1763, pág. 120):

$$R_i('') = 57,8'' \tan(z_i - 0,0638889^\circ \tan z_i) \frac{278(1 - 0,00016T)P}{753,5(268 + T)} \quad (3.18)$$

Donde la P es la presión atmosférica expresada en mm de Hg,  $z_i$  en grados sexagesimales y T la temperatura expresada en °C. Hay que tener en cuenta que las constantes también tienen, en este caso, unidades y que como tal deben modificarse si cambiamos el sistema de unidades. El valor de 278 tiene unidades de inverso

de presión en mm de Hg y los valores de 0.00016 del numerador y el de 753.5 del denominador tienen unidades del inverso de la temperatura en °C y, por último, el valor de 268 del denominador tiene unidades de temperatura en °C. La altura corregida, para cada observación vendrá determinada de la siguiente forma:

$$h_i = 90 - z_i - R_i \quad (3.19)$$

Para calcular el acimut verdadero del Sol de cada observación usaremos la expresión:

$$\cos A_i = \frac{\sin \phi \sin h_i - \sin \delta_{\odot}}{\cos \phi \cos h_i} \quad (3.20)$$

Donde para el cálculo de  $\delta_{\odot}$  podemos usar la fórmula (Cooper, 1969):

$$\delta_{\odot} = 23,45^{\circ} \sin\left(\frac{2\pi(284 + n)}{365}\right) \quad (3.21)$$

Donde  $n$  es el número de días del año en el que nos encontremos entre 1 y 365, 366 si el año es bisiesto. En este caso también podemos calcular el valor de la declinación solar por medio de un almanaque astronómico, como se explicó en el apartado 3.2.1.

Una vez despejados los acimuts verdaderos para cada una de las observaciones teniendo en cuenta en situar el resultado del arcoseno en el cuadrante correspondiente a que el Sol se encuentre al Este o al Oeste del meridiano. Tras haber realizado todo el procedimiento anterior ya solo queda aplicar las ecuaciones 3.13, 3.14 y 3.15 para conseguir el valor final del acimut y de su respectivo error.

### 3.3. GNSS-Sistemas de Posicionamiento Global por Satélite

Otra de las metodologías para determinar el acimut de una dirección, como se explicará posteriormente, es la utilización de Sistemas de Posicionamiento Global por Satélite o GNSS (Global Navigation Satellite System), ya que conociendo las coordenadas de los extremos de una línea es posible determinar con exactitud su acimut (Wolf y Ghilani, 2002).

El papel que ha jugado en los últimos años los Sistemas de Posicionamiento Global por Satélite en los estudios arqueológicos es equiparable al de otras ciencias que trabajan con datos geográficos y/o geodésicos, las llamadas geociencias. En los últimos tiempos se viene usando como apoyo a otras técnicas mediante la medición de puntos precisos o como paso previo a la creación de Sistemas de Información Geográfica. También es muy común el paso de puntos aislados tomados con receptores GNSS de mano como capas de información de Sistemas de Información Geográfica.

Basándonos en Reino (1999), alguno de los trabajos arqueológicos en los que los Sistemas de Posicionamiento Global por Satélite son una herramienta importante son:

- Localización de hallazgos, tanto para la prospección arqueológica superficial como para la excavación metodológica. Se necesita la mayor exactitud posible para determinar la localización de los yacimientos sobre el terreno para conocer su distribución espacial como para su estudio posterior volviendo a los mismos o en gabinete.
- Elaboración de croquis, en algunos casos los restos superficiales nos permiten realizar una planta con rapidez y exactitud con métodos GNSS.
- Delimitación de yacimientos, muy importante para comenzar la interpretación de un yacimiento es el conocimiento de su extensión que habitualmente nos da una primera clasificación del tipo de sitio arqueológico que estamos tratando.
- Levantamientos planimétricos, las planimetría se llevan usando en Arqueología desde sus comienzos para tener una idea general del yacimiento en el que

estamos trabajando. También puede ser necesario complementar una topografía demasiado generalista para usos arqueológicos.

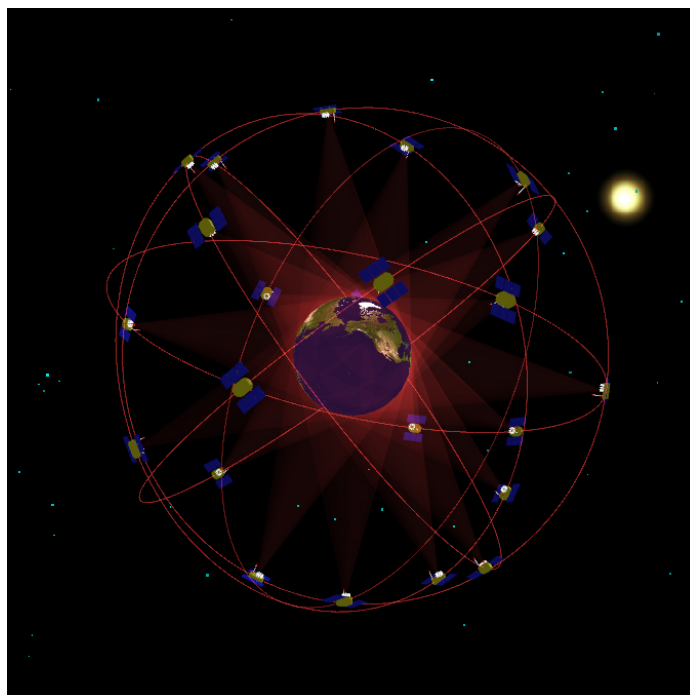
- Georeferenciación de hallazgos y material gráfico arqueológico, puede ser de vital importancia conocer la dispersión de los registros arqueológicos para una correcta interpretación. Así, como colocar dibujos y otros materiales gráficos de forma correctamente georeferenciada.
- Uso en técnicas auxiliares. En realidad, muchas de las técnicas auxiliares que se usan actualmente en arqueología, como los estudios geofísicos, también hacen uso de técnicas GNSS para ubicar correctamente sus resultados dentro del yacimiento.

El uso de los GNSS en Arqueología se ha convertido en algo, cada vez más, imprescindible debido a la precisión, la rapidez en las medidas, la facilidad con la que cualquier usuario puede usar los receptores y el bajo coste que supone su adquisición. Dado el papel tan relevante que tienen en la actualidad estos sistemas y las nuevas vías que se abrirán en el futuro y su uso intensivo en el desarrollo del presente trabajo paso a presentar estas técnicas. Como la denominación GNSS hace referencia tanto a los sistemas individuales de posicionamiento global por satélite (GPS, GLONASS, GALILEO, COMPASS), como a su combinación y potenciación mediante otros sistemas, comenzaremos por la descripción de los sistemas propiamente dichos.

### 3.3.1. Sistema GPS

El Sistema de Posicionamiento Global (GPS) es, sin duda, el sistema más famoso. Los primeros pasos de este sistema fueron dados por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos de América, en particular la US Navy y la Air Force. El objetivo era, entre otros intereses militares, dotar a los submarinos que lanzaban misiles balísticos con un sistema preciso de posicionamiento y navegación. Este sistema militar se denominó TRANSIT, y entró en servicio en 1967.

En 1973 el Departamento de Defensa de los Estados Unidos combinó los sistemas que formaban TRANSIT para conseguir un único sistema que proporcionara datos precisos de posición, velocidad y tiempo tanto a usuarios militares como civiles, estos últimos con ciertas restricciones. El uso civil bajo supervisión militar fue garantizado por orden ejecutiva del Presidente de los Estados Unidos de América



**Figura 3.17:** Constelación de Satélites NAVSTAR

Ronald Reagan tras el incidente del vuelo 007 de Korean Air Lines el 1 de Septiembre de 1983. El avión de pasajeros que realizaba el trayecto desde Nueva York a Seúl fue derribado produciendo la muerte de 269 personas, incluido un miembro del congreso estadounidense, por el ejército ruso con motivo de la invasión de espacio aéreo prohibido de la Unión Soviética. La decisión final del uso civil fue ratificada por el Presidente Bill Clinton en su directiva de 1996 (IGEB, 1996). Este sistema se denominó NAVSTAR GPS (NAVigation System with Time And Ranging Global Positioning System) y viene siendo utilizado para fines geodésicos prácticamente desde 1983. La configuración final del sistema fue alcanzada en 1994, con 24 satélites utilizables y fue declarada totalmente operativa el 27 de Abril de 1995.

Se pueden diferenciar, como en cualquier sistema de posicionamiento global por satélite, tres partes en GPS: Sector Espacial, Sector de Control Terrestre y Sector de Usuario.

El Sector Espacial está formado por una constelación de 24 satélites denominada NAVSTAR que gira alrededor de la Tierra en seis planos orbitales a unos  $60^\circ$  entre sí, con cuatro satélites en cada plano. Hay 21 satélites activos y 3 de reserva que serían activados en caso de que alguno de los que se encuentran actualmente

activos fallara. La configuración de satélites Navstar no es geosíncrona sino que las órbitas son circulares inclinadas con un ángulo de elevación en el nodo ascendente con respecto al plano ecuatorial de  $55^\circ$ . La elevación promedio de los satélites es de 20.200 kilómetros sobre la Tierra y poseen un periodo de revolución de 12 horas. Esta configuración permite que cualquier punto de la Tierra esté cubierto en cada momento por un número mínimo de 4 satélites, lo cual es la condición mínima para que podamos conocer la situación de un punto en el espacio por este método.

Se denomina Sector de Control Terrestre, o Sector de Control de Operación, al conjunto formado por todas las estaciones monitoras fijas que se encuentran repartidas por el mundo. Estas estaciones se encargan de recibir y acumular datos de telemetría y efemérides específicas para cada satélite. Estos datos son transmitidos a una Estación de Control Maestro la cual recibe los datos en tiempo real y detecta errores operativos en los satélites, errores de reloj o de posición. Si es necesario algún ajuste los datos son transmitidos a los satélites junto con los comandos de funcionamiento rutinario.

Por último el Sector de Usuario, que no es más que todo el conjunto de usuarios y los receptores GPS que utilizan la señal que reciben de los satélites para conocer una estimación precisa de su posición, velocidad y tiempo.

### **3.3.2. Otros Sistemas de Posicionamiento Global por Satélite**

#### **GLONASS**

El sistema GLONASS, GLObal'naya NAVigatsionnaya Sputnikovaya Sistema (GLObal NAVigation Satellite System - Sistema de Navegación Global por Satélite) surge como sustitución del sistema doppler TSIKADA desarrollado dentro de la antigua Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas (URSS) a partir del año 1976 y, al igual que el sistema norteamericano, impulsado por intereses militares. La colocación de satélites empezó el 12 de Octubre de 1982 y se dio por completada en 1995 con un total de 24 satélites. El sistema sufrió un duro revés con el colapso económico de la antigua URSS, tanto es así que hasta el año 2001 en el que se decidió de nuevo su puesta en marcha el proyecto fue abandonado. En la actualidad la totalidad de los satélites se encuentran operativos.

Al igual que en el sistema GPS el Sistema Satelital está formado por 24 satélites en tres planos orbitales, cuyos nodos ascendentes están separados  $120^\circ$  conteniendo



cada plano 8 satélites equiespaciados. Las órbitas son prácticamente circulares con una inclinación de  $64.8^\circ$  a una altura de 19.100 km sobre la Tierra, lo cual nos arroja un periodo de 11 horas y 15 minutos. Los planos orbitales están elegidos con un desplazamiento en latitud de  $15^\circ$ , de modo que en lugar de situarse sobre el ecuador tres satélites simultáneamente solo si sitúa uno de ellos.

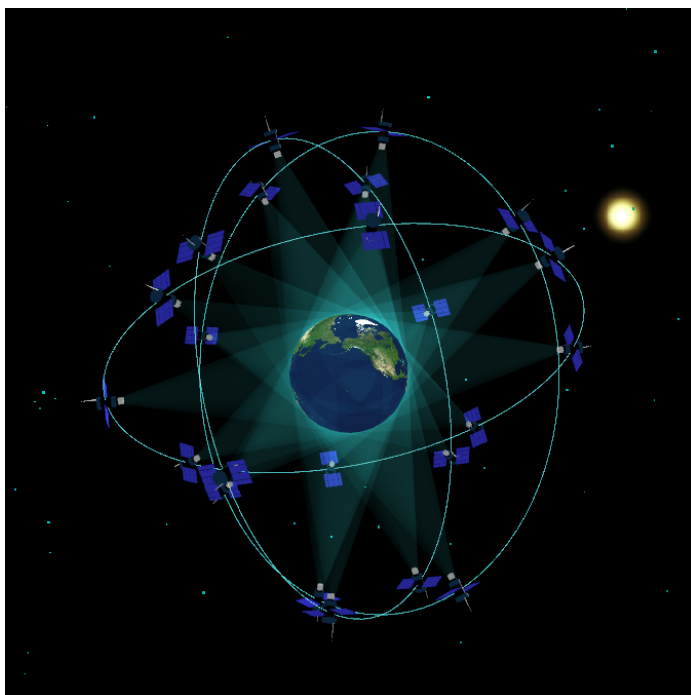
GLONASS forma junto al sistema GPS los dos únicos sistemas de posicionamiento global que funcionan plenamente en la actualidad con precisiones al nivel del sistema GPS de unos 5-10 metros. Como cabía esperar su existencia plantea una serie de problemas que se han tenido que solventar y varias ventajas.

Dos son los principales problemas que plantea la coexistencia de los dos sistemas, por un lado la diferencia de sistema de tiempo mientras el sistema GPS funciona con el tiempo GPS, GLONASS utiliza el GLONASSST. La solución a este problema se consigue con relativa facilidad ya que la diferencia con UTC (Tiempo Universal Coordinado) es conocida para ambos sistemas. El otro problema que se ha debido solventar es la diferencia de sistema de referencia WGS84 para GPS y PZ-90 para GLONASS. Este problema se ha solventado pasando todas las coordenadas a WGS84, por medio de la posición de varios satélites en los dos sistemas de coordenadas. La posición de los satélites GLONASS se calcula con estaciones de seguimiento repartidas por toda la superficie de la Tierra mediante técnicas láser, radar y ópticas que no se explicarán aquí.

En cuanto a las ventajas la mayoría son consecuencia de la posibilidad de contar con hasta 48 satélites frente a los 24 con los que cuenta GPS. Sin duda, las zonas con poca cobertura de satélites ven paliado este hecho por el mayor número de satélites. El tiempo que tarda un receptor en conseguir señal de satélites es mucho menor y se consigue mejores resultados en la posición para un mismo tiempo de observación. Otra de las ventajas, nada desdeñable, es que podemos saltarnos uno de los errores sistemáticos de GPS, la disponibilidad selectiva que se explicarán en el apartado 3.3.3.

## **GALILEO**

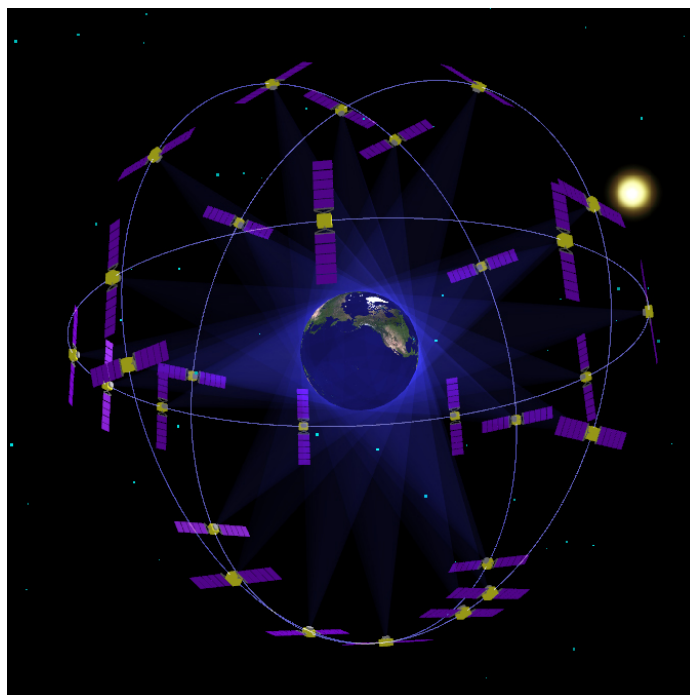
El Sistema GALILEO es la alternativa que presentan la Comisión Europea (EC) y la Agencia Espacial Europea (ESA) frente al sistema estadounidense (GPS) y el ruso (GLONASS). Este sistema, además de permitir una independencia estratégica, será el primer sistema Global de Navegación por Satélite con orígenes y fines mera-



**Figura 3.18:** Constelación de Satélites GLONASS

mente civiles así como su control desmilitarizado. En el servicio estándar el margen de error será inferior a un metro, un gran avance en precisión para el uso público, gracias a la utilización de tres bandas de frecuencia en el servicio estándar.

El proyecto GALILEO consta de tres fases: definición, desarrollo y validación de órbitas y despliegue total y operaciones. La primera fase del proyecto, terminada en el año 2003, proporcionó las especificaciones básicas del sistema que serán validadas por el despliegue de 4 satélites de la futura constelación definitiva, las estaciones terrestres y las de control. Seguidamente, se llevó a cabo la misión GIOVE (Galileo In-Orbit Validation Element) mediante el lanzamiento de dos satélites, el GIOVE-A, el 28 de Diciembre de 2005 y, el GIOVE-B, el 27 de Abril de 2008. Esta misión tenía el objetivo de ofrecer una batería de pruebas (datos de transmisión, conexión con estaciones terrestres, etc) cuyos resultados sirvieran para evitar errores en el posterior lanzamiento y funcionamiento de los satélites de la constelación. El comentado lanzamiento de 4 satélites de la constelación final como primer paso de la validación en órbita, In-Orbit Validation (IOV), se ha finalizado con el lanzamiento con éxito el 21 de Octubre de 2011 de los dos primeros satélites y el 13 de Octubre de 2012, de los dos últimos. Ya solo resta la puesta en órbita de los otros 26 satélites durante esta



**Figura 3.19:** *Futura Constelación de Satélites GALILEO*

fase de despliegue y funcionamiento total que, como es habitual, se encuentra sujeta a retrasos. Actualmente se baraja una fecha próxima al año 2020.

La constelación GALILEO estará formada por 30 satélites a una altura de 23.222 kilómetros. Los satélites se distribuirán en 3 órbitas inclinadas  $56^\circ$  respecto del ecuador, cada una de las órbitas contendrá 10 satélites orbitando la Tierra con un periodo de 14 horas. Esta configuración permitirá dar cobertura a zonas que GPS cubre de forma deficitaria y por otro lado conseguirá mayor precisión en lugares tradicionalmente complicados debido a la debilidad con la que llegaba la señal. Ello lo permitirá la mayor visibilidad satelital, entre 6 y 8 satélites a los que hay que sumar los de los sistemas GPS y GLONASS, con los que la compatibilidad está soportada en el sistema GALILEO.

### Otros sistemas futuros

La tendencia actual de los países con posibilidad de enviar satélites al espacio es la de emprender constelaciones propias. Ejemplos de ello son los programas que desarrollan en la actualidad China, India y Japón.

El sistema de navegación Beidou, llamado así por el nombre en chino de la constelación de la Osa Mayor, fue desarrollado por China en los años 90. Está formado por 4 satélites geoestacionarios de los que se han lanzado solamente 3 entre el año 2000, los dos primeros, y el año 2003, al año siguiente el sistema Beidou quedó abierto a uso civil. El sistema Beidou pensado inicialmente como un sistema regional paso a ser global cuando en el año 2003 China consideró su entrada en el programa europeo GALILEO. Finalmente decidió realizar un sistema global independiente, el sistema de navegación por satélite COMPASS. Este sistema estará formado por 5 satélites geoestacionarios, 3 geoestacionarios inclinados y 27 de órbita terrestre media (MEO), lo que conformará una constelación de 35 satélites. De los 32 satélites que restan se han colocado 8 en el periodo entre los años 2007 y 2010, esto permite la cobertura de Asia, estimándose una cobertura global en el año 2020.

El pasado 27 de diciembre de 2011 Ran Chengqi, director de la oficina de control del sistema de navegación chino compareció ante los medios de comunicación en rueda de prensa para comunicar oficialmente que el sistema Beidou/Compass se encuentra oficialmente operativo. Sin embargo, no significa que esté totalmente terminado. Esta fase es la primera de las tres que se tienen previstas para el futuro cercano. Actualmente el servicio cubre un área entre los 84° y 160° Este en longitud y entre 55° Sur a los 55° Norte en latitud. La precisión actual del sistema es de hasta 25 metros en posición horizontal, 30 metros en altura, 0.4 m/s en velocidad y una precisión temporal de 50 nanosegundos. Según los informes publicados (China Satellite Navigation System's Office, 2011), la segunda fase de desarrollo ampliará la zona del servicio que cubrirá la mayor parte de Asia y del Pacífico con 14 satélites: 5 GEO (Geostationary Earth Orbit), 5 IGSO (Inclined GeoSynchronous Orbit) en dos planos orbitales y 4 MEO (Medium Earth Orbit) en dos planos orbitales. Para llevar a cabo esta fase se lanzarán otros seis satélites en 2012.

La apuesta india lleva las siglas IRNSS (Indian Regional Navigational Satellite System). Es un proyecto que dio comienzo en el año 2006, muy reciente en comparación con otros sistemas, se espera el lanzamiento para el último cuarto del año 2011 y se continuará con un lanzamiento programado cada seis meses. La constelación satelital estará formada por 7 satélites, por lo tanto, el despliegue no terminará antes del año 2014. De estos 7 satélites, 3 tendrán una órbita geoestacionaria y 4 la tendrán no estacionaria. Todo el proyecto se ha llevado a cabo dentro de la India, liderado por la Organización India de Investigación Espacial y pretende obtener una precisión final de 20 metros dentro del país.

Por último, Japón desarrolla el QZSS (Quasi-Zenith Satellite System) o Juntenchō en japonés. El proyecto dio comienzo en el año 2002 y estará formado por tan solo 3 satélites. El diseño del sistema está pensado para que al menos un satélite se encuentre visible y por encima de los  $70^\circ$ , lo que lo hace efectivamente casi cenital. El uso será solamente civil y el sistema que despegó con el lanzamiento del primer satélite a finales de 2010, se espera que esté finalizado en 2013.

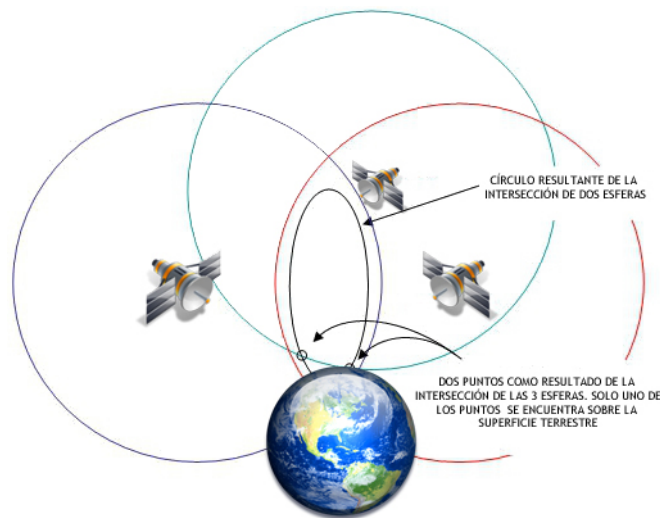
### 3.3.3. Funcionamiento, Observables y Errores GNSS

La determinación de la posición mediante técnicas GNSS se basa en la información que podemos obtener de las señales que recibimos de los satélites que se encuentran en órbita. Todas aquellas magnitudes que podemos medir a partir de dichas señales son denominados observables GNSS. Las señales que emiten los satélites están formadas por varias cadenas que conforma el llamado código pseudo-aleatorio. En particular podemos diferenciar:

- El código C/A (Coarse/Acquisition), con frecuencia 1.023 MHz., con fines civiles.
- El código P (Precision Code), destinado a uso militar.
- El código Y, que se envía encriptado en lugar del código P.

Toda la información de código se transmite en dos frecuencias L1, L2 llamadas frecuencias portadoras. La frecuencia L1 (1575.42 MHz.) porta los códigos C/A y P. La frecuencia L2 (1277.60 MHz.) porta información militar modulada en el código P. Además de todo ello, el satélite transmite a una frecuencia de 50 Hz. en una combinación de L1 y L2 con información sobre efemérides y las correcciones de los relojes satelitales.

De una forma básica podemos entender el proceso que nos lleva al conocimiento de la posición de un receptor sobre la superficie terrestre como una iteración de procesos receptor-satélites. Al encender un receptor GPS éste recibe las señales de todos los satélites visibles en ese momento desde la posición donde se encuentra el usuario. Supongamos solamente 4 satélites visibles para nuestro ejemplo. El primer satélite proporciona al receptor una señal (3.21) que el receptor reconoce y que inmediatamente comienza a replicar. Obviamente al hacerlo existe un desfase temporal



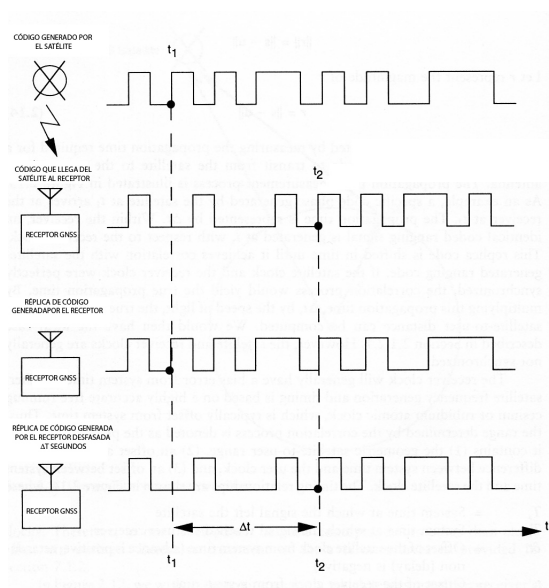
**Figura 3.20:** *Funcionamiento de GNSS*

entre las dos señales que podemos medir  $\Delta t$ , dado que estamos hablando de ondas electromagnéticas que viajan a la velocidad de la luz ( $c$ ), si multiplicamos el desfase temporal por la velocidad de la luz nos resulta una distancia.

Sin embargo, esta distancia solo nos proporciona una esfera centra en el primer satélite de radio  $r_1$  donde se puede encontrar el receptor. Es decir, la incertidumbre es una esfera de radio  $r_1$ . Haciendo el proceso equivalente con el segundo satélite obtendremos una distancia  $r_2$  pero la incertidumbre en este caso es la intersección de dos esferas la de radio  $r_1$  y la de radio  $r_2$ , cuya figura geométrica es un círculo. Con el tercer satélite reducimos la incertidumbre a la intersección de 3 tres esferas de radios  $r_1, r_2, r_3$ , dos puntos en este caso. Con estos dos puntos generalmente es suficiente ya que uno de los puntos suele caer fuera de la Tierra. Sin embargo, reducimos uno de los dos -concretando el punto que buscábamos- ya que la intersección de cuatro esferas resulta un único punto. Se puede ver la explicación gráfica con tres esferas en la figura 3.20.

De esta forma queda claro que el mínimo número de satélites necesarios para conocer nuestra posición en un determinado punto son 4 aunque obviamente mejorará la medida cualquier número de satélites que lo supere, de ahí las configuraciones satelitales que se han explicado en los apartados anteriores.

Por lo tanto, los observables fundamentales que podemos medir a partir de dicha señal son: el retraso temporal del código modulador con respecto a una réplica



**Figura 3.21:** Correlación de señales

generada en el receptor, la diferencia de fase entre la onda electromagnética recibida y la frecuencia generada localmente por el receptor, el desplazamiento Doppler y la potencia de la señal.

En el posicionamiento por satélites, el principal observable es el tiempo empleado por la señal en su propagación desde el satélite hasta el receptor. Éste se determina mediante la alineación del código modulador de la señal recibida con una réplica generada internamente por el receptor. Al multiplicar esta medida del tiempo de propagación por la velocidad de la luz se obtiene la pseudodistancia satélite-receptor.

Una medida adicional de pseudodistancias es la proporcionada por la diferencia de fase existente entre la señal recibida y la frecuencia generada por el oscilador del receptor. Como toda medida de fase, presenta una ambigüedad de un número entero de ciclos que es necesario determinar. Una vez conocida la ambigüedad, se obtiene un valor muy preciso de la pseudodistancia al multiplicar por la longitud de onda correspondiente.

La medida de desplazamiento Doppler proporciona información adicional para el posicionamiento puntual, resultando muy útil en navegación, puesto que permite la determinación de la velocidad del receptor en tiempo real.

Las fuentes de error típicas de los GNSS están relacionados con el satélite, la señal y el receptor. Los satélites están sometidos a la imprecisión del reloj interno y modificaciones en sus órbitas debidas a perturbaciones de las capas superiores de la atmósfera. La velocidad de transmisión de la señal de radio también está sujeta a las variaciones producidas por las capas atmosféricas que atraviesa, las partículas cargadas de la ionosfera y el vapor de agua de la troposfera reducen sensiblemente la velocidad de la señal emitida por el satélite. Los receptores no pueden conocer el grado de alteración que ha sufrido la señal durante su recorrido ya que es impredecible y aleatorio, de todas maneras este error se palía considerablemente con el uso de la corrección diferencial.

En cuanto a los receptores existen varios tipos de errores. Los errores multipath consisten en la recepción múltiple de la misma señal procedente del satélite y de las superficies cercanas en las que la señal original rebotó. Este tipo de errores se pueden reducir estableciendo máscaras de elevación que obvian las señales procedentes de un ángulo inferior al que establezca el usuario. Hay que tener en cuenta que ello nos reduce, a su vez, la ventana de recepción de señales. Los errores de ruido del receptor son los producidos por el ruido electrónico del propio receptor e interferencia con otras señales. Por último, el error más importante de los vistos hasta ahora, la llamada disponibilidad selectiva. Este es un error intencionado creado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos que consiste en la introducción de un ruido aleatorio en la medida, aunque este error no se introduce en la actualidad, Estados Unidos se reserva el derecho de colocarlo de nuevo según sus intereses estratégicos con la posibilidad añadida de hacerlo en una región específica según interés.

Este conjunto de errores, cuyos valores típicos pueden verse en la tabla 3.3, nos debe hacer conscientes que las coordenadas que obtenemos en el campo son defectuosas en cierta medida y según sea nuestra necesidad de precisión debemos corregirlas a posteriori. El hecho de que unas coordenadas individuales sean inexactas puede reducirse de forma considerable con los métodos diferenciales. En ellos intervienen dos receptores simultáneamente, uno de ellas se coloca en un punto que conozcamos sus coordenadas con anterioridad y de forma muy exacta, como por ejemplo un vértice geodésico, que será la estación de referencia. El otro receptor será móvil y se usa del mismo modo que se haría con un receptor GNSS que funcionara de forma independiente. Al funcionar a la vez, ambos receptores toman los datos al mismo tiempo pero los datos que toma del satélite el receptor situado en la



| Causa                    | Receptor autónomo | Diferencial |
|--------------------------|-------------------|-------------|
| Reloj del satélite       | 1.5 m             | 0 m         |
| Error orbital            | 2.5 m             | 0 m         |
| Ionosfera                | 5 m               | 0.4 m       |
| Troposfera               | 0.5 m             | 0.2 m       |
| Ruido del receptor       | 0.3 m             | 0.3 m       |
| Multipath                | 0.6 m             | 0.6 m       |
| Disponibilidad Selectiva | 30 m              | 0 m         |

**Tabla 3.3:** Errores GNSS y sus valores típicos

estación de referencia pueden ser usados para conocer el error que se está cometiendo en la medida al comparar los datos obtenidos mediante la recepción de la señal de los satélites con la real conocida de antemano.

Esta corrección puede realizarse en tiempo real o en el postprocesado de los datos. Las correcciones en tiempo real son enviadas por el receptor situado en la estación de referencia al segundo receptor, este caso viene limitado por las distancias en las que la conexión es factible, hasta los 20 kilómetros, y por la orografía del terreno en el que trabajemos. Por otro lado, los receptores que permiten este tipo de correcciones son de mayor coste. La corrección mediante postprocesado se realiza mediante el análisis de los datos de los dos receptores en gabinete.

### 3.3.4. Potenciación de Sistemas de Posicionamiento Global por Satélite

Los sistemas de potenciación de sistemas de posicionamiento global por satélite se basan en sistemas de corrección diferencial y permiten a un usuario que trabaje autónomamente recibir correcciones en tiempo real sin necesidad de un segundo receptor. Existen varios tipos de sistemas de aumentación:

- Sistema de potenciación basada en la aeronave (ABAS)

Integra la información obtenida de los sistemas que conforman los GNSS con la información que poseen los satélites.

- Sistema de potenciación basada en Tierra (GBAS)

Se basa en los datos de estaciones posicionadas en tierra con independencia de la señal que proporcionan los satélites. Se usan principalmente en el control del tráfico aéreo en los aeropuertos y pueden proporcionar las correcciones telemétricas como componente de SBAS.

- Sistema de potenciación regional basada en Tierra (GRAS)

Se puede entender como un sistema GBAS ampliado, se basa en estaciones GBAS interconectadas y desplegadas en una determinada región lo que permite una GBAS a escala regional.

- Sistema de potenciación basada en satélites (SBAS)

El seguimiento de los satélite es realizado por un conjunto de estaciones en tierra conectadas a un centro de control. Las estaciones envían, en tiempo real, los datos recibidos de los satélites al centro de control. Este calcula el modelo de correcciones y lo envía a los satélites que a su vez lo retransmiten junto a las demás señales a los usuarios finales permitiéndoles tener correcciones a pesar de ser datos de sesiones autónomas.

Los SBAS son los sistemas que en la actualidad se están desarrollando con mayor interés. En particular podemos hablar del europeo EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service), el GAGAN (GPS and GEO Augmented Navigation) auspiciado por la Agencia India del Espacio. El japonés MSAS (Multi-functional Satellite Augmentation System) y el estadounidense WAAS. Como complemento a nivel mundial existen los sistemas CWAAS que cubre Canadá, el SNAS da cobertura al sudeste asiático, SACSA para Caribe, Meso y Sudamérica y por último GRAS que cubre Australia.

### 3.3.5. Determinación del acimut por GNSS

En geodesia el cálculo de la distancia AB y su acimut dadas las longitudes y latitudes de dos estaciones A y B se denomina cálculo inverso de la posición geodésica. En la bibliografía se encuentran diversas formulaciones, en este caso se tomará la desarrollada por Vincenty (Vincenty, 1975) en Wolf (Wolf y Ghilani, 2002, 582-ss). Este procedimiento permite una precisión de unos pocos centímetros para líneas de hasta 20.000 kilómetros, esta metodología de trabajo nos proporciona una gran precisión en nuestros estudios arqueoastronómicos.

Sean  $\phi_1, \phi_2, \lambda_1, \lambda_2$  la latitud y longitud de las estaciones 1 y 2, respectivamente, conocidas previamente por medio de receptores GNSS. Y tomemos a y b el semieje mayor y menor respectivamente, del geoide de referencia que estemos tomando (ver ecuación 3.1). Los pasos necesarios para determinar el acimut son los siguientes:

1.  $L = \lambda = \lambda_2 - \lambda_1$
2.  $\tan U_1 = (1 - f) \tan \phi_1$
3.  $\tan U_2 = (1 - f) \tan \phi_2$
4.  $\sin^2 \sigma = (\cos U_2 \sin \lambda)^2 + (\cos U_1 \sin U_2 - \cos U_1 \sin U_2 \cos \lambda)^2$
5.  $\cos \sigma = \sin U_1 \sin U_2 + \cos U_1 \cos U_2 \cos \lambda$
6.  $\sin \alpha = \cos U_1 \cos U_2 (\sin \lambda / \sin \sigma)$
7.  $\cos 2\sigma_m = \cos \sigma - 2 \sin U_1 (\sin U_2 / \cos^2 \alpha)$
8.  $C = \frac{f}{16} \cos^2 \alpha [4 + f(4 - 3 \cos^2 \alpha)]$
9.  $\lambda = L + (1 - C)f \sin \alpha \{ \sigma + C \sin \sigma [\cos(2\sigma_m) + C \cos \sigma (-1 + 2 \cos^2 2\sigma_m)] \}$
10. Iterar los pasos 4-9 hasta que el valor de  $\lambda$  no varíe.
11.  $u = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{b} \cos \alpha$
12.  $s = bA(\sigma - \Delta\sigma)$

Donde:

$$A = 1 + \frac{u^2}{16,384} \{4096 + u^2[-768 + u^2(320 - 175u^2)]\}$$

$$B = \frac{u^2}{1024} \{256 + u^2[-128 + u^2(74 - 47u^2)]\}$$

$$\Delta\sigma = B \sin \sigma \left\{ \cos(2\sigma_m) + \frac{1}{4} B [\cos \sigma (-1 + 2 \cos^2 2\sigma_m) - \frac{1}{6} B \cos(2\sigma_m) (-9 + 4 \sin^2 \sigma) (-3 + 4 \cos^2 2\sigma_m)] \right\}$$

De esta forma tenemos los acimuts:

$$\tan \alpha_1 = \frac{\cos U_2 \sin \alpha}{\cos U_1 \sin U_2 - \sin U_1 \cos U_2 \cos \lambda} \quad (3.22)$$

$$\tan \alpha_2 = \frac{\cos U_1 \sin \alpha}{-\cos U_2 \sin U_1 + \sin U_2 \cos U_1 \cos \lambda} \quad (3.23)$$

### 3.4. Infraestructura de Datos Espaciales (IDE)

Uno de las líneas más novedosas, en el marco del intento de estandarización de la metodología de trabajo en los estudios arqueoastronómicos, de esta memoria es la aplicación de las Infraestructuras de Datos Espaciales (IDE) a la información astronómica en general y a la información arqueoastronómica en particular. Este trabajo se ha realizado en colaboración con José Gómez Castaño y apoyándonos en su trabajo previo, (Gómez Castaño, 2006). Como veremos a continuación, las IDEs son una generalización del concepto de Sistemas de Información Geográfica (SIG) que se han venido utilizando de forma intensa en los trabajos arqueológicos de los últimos tiempos. A modo de resumen, lo que se ha realizado en relación con las IDEs es su definición, por primera vez, como herramienta arqueoastronómica y su integración como una nueva capa de información adicionada al resto de la clásica información geográfica. Con ello conseguimos introducir la información astronómica en relación con la información geográfica y al estar ambas georreferenciadas sacar conclusiones en el marco de los estudios arqueoastronómicos teniendo en cuenta factores que habitualmente se soslayan o se obvian como la dependencia de los eventos astronómicos de la topografía y orografía del lugar en estudio.

Estas nuevas técnicas de estudio se han utilizado, con gran éxito, en los trabajos que se explicarán en el siguiente capítulo, en particular en los estudios realizados en el alentejo portugués. A su vez, han dado lugar a dos publicaciones. La primera en los proceedings del II Jornadas Ibéricas de las Infraestructuras de Datos Espaciales, (Gómez Castaño y otros, 2011). La segunda una publicación en línea de la editorial Intech (Mejuto y otros, 2012), que en el momento en el que estoy escribiendo estas líneas sobrepasa las 1680 descargas.

A continuación, como hemos comentado, describiremos las Infraestructuras de Datos Espaciales como generalización de los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

#### 3.4.1. Sistemas de información Geográfica e Infraestructuras de Datos Espaciales

Los Sistemas de Información Geográfica han demostrado ser una herramienta muy útil en los yacimientos arqueológicos, especialmente a la hora de representar geográficamente los elementos de un yacimiento. Un SIG es un caso particular de

Sistemas de Información donde la base de datos consiste en características, actividades o eventos espacialmente distribuidos los cuales pueden representarse en el espacio como puntos, líneas, polilíneas o áreas. Estos conjuntos de datos están compuesto por una serie de coordenadas geográficas (latitud, longitud) o en un proyección UTM (X,Y), relativa a un Datum de referencia e información alfanumérica.

Tradicionalmente esta información ha sido almacenada en bases de datos espaciales como PostGIS u Oracle Spatial, siendo transformadas usando técnicas de geoprocado para conseguir información derivada de dichos datos, ejemplos de ello son los Modelos Digitales de Elevación (MDE), mapas temáticos y relaciones entre diferentes elementos y el entorno.

Hoy en día, esta forma de ver al SIG como un catálogo ha evolucionado hacia la idea de Infraestructura de Datos Espaciales (IDE). Mientras que los SIG están orientados a los datos, los IDE están orientados a los servicios. En un IDE los datos residen fuera del computador del usuario y se distribuyen vía internet. Cada capa de información puede ser mantenida por un grupo de trabajo diferente, típicamente el responsable de la toma de datos. En Arqueología, las capas de interés son las relacionadas con el yacimiento propiamente dicho.

Un IDE se compone de un conjunto de tecnologías que incluyen datos y atributos geográficos, junto con servicios que permiten la visualización de mapas y la integración con otros sistemas. El éxito de esta tecnología es la efectividad compartiendo información geográfica evitando duplicación y asegurando el uso de un conjunto básico de datos geográficos, permitiendo la integración de diferentes fuente proporcionadas por varios usuarios.

Por lo tanto, un IDE es más que Información Geográfica almacenada en un SIG tradicional. Es posible combinar muy diferente información espacial de diversas fuentes procedentes de cualquier parte del globo y compartirla, igualmente, entre una enorme cantidad de usuarios y aplicaciones. También permite diferentes nivel de detalle partiendo de la mismos datos iniciales, ya sea para un estudio regional detallado o para uso estratégico general. Actualmente la Unión Europa trabaja en esta dirección con la Directiva INSPIRE (EU, 2007), la cual tiene como objetivo crear una infraestructura espacial de datos a nivel europeo. Ello desarrollará la compartición de información espacial entre las organizaciones del sector público permitiendo el acceso público a la información espacial por toda Europa, siendo clave para ello la globalización y la interoperabilidad.

### 3.4.2. Servicios ofertados por una IDE

Como se ha comentado anteriormente, hay varios servicios que permiten la visualización de mapas y la integración con otros sistemas a partir de datos y atributos geográficos que conforman las IDEs. Estos servicios vienen descritos como estándares por el Open Geospatial Consortium (OGC, 2011a). Se trata de una institución que agrupa a casi medio millar de compañías, agencias gubernamentales y universidades que participan en un proceso de consenso con el fin de desarrollar interfaces estándar públicamente accesibles.

Estos estándares apoyan las soluciones interoperables, uno de los objetivos más importantes de una IDE. Entre los objetivos del OGC se encuentran:

- Facilitar la adopción de arquitecturas de referencia abiertas y con capacidades espaciales en entornos empresariales a nivel global.
- Avanzar en los estándares para el apoyo a la formación de nuevos e innovadores mercados y aplicaciones para tecnologías geoespaciales.
- Acelerar la asimilación del mercado de investigación interoperativa a través de procesos colaborativos.

A continuación se describen los principales servicios estándar:

#### WMS (Web Map Service)

Es el estándar para mostrar información geográfica en Internet. Proporciona una imagen de la zona que se requiera. Las fuentes pueden ser archivos de datos de un SIG, bases de datos espaciales, mapas digitales, ortofotografías, imágenes de satélite, etc. WMS está organizado en una o más capas las cuales pueden ser visibles o invisibles a voluntad cada una por separado, siendo accesible la información de cada uno de los elementos individuales del mapa. Permite la superposición visual de datos vectoriales o ráster con diferentes sistemas de referencia, coordenadas y servidores. En cualesquiera de estos casos, al usuario final le es devuelta una imagen en uno de los formatos que se usan ampliamente, tales como PNG, JPG o SVG.

WMS especifica tres operaciones:

- **GetCapabilities:** Devuelve metadatos al nivel servicio.
- **GetMap:** Devuelve la imagen de un mapa cuando los parametros geográficos y dimensiones han sido definidas.
- **GetFeatureInfo:** Devuelve información sobre determinadas características de elementos que aparecen en el mapa.

### WFS (Web Feature Service)

El estándar que permite el acceso y el visionado de todos los atributos de un elemento espacial, a los que se les suele llamar características, y que se representan en modo vectorial con geometría descrita por un conjunto de coordenadas.

WFS especifica tres operaciones:

- **GetCapabilities:** Recupera la descripción formal o metadatos del servicio para determinar las opciones disponibles.
- **GetFeature:** Realiza la petición actual en términos de parámetros tales como el marco de búsqueda u otros filtros. El resultado es un grupo de datos que contienen la geometría y datos alfanuméricos asociados.
- **DescribeFeatureType:** Recupera el esquema XML que permite al cliente WFS analizar el conjunto de resultados. Los datos son servidor en formato GML, que es otro de los estándares que define OGC. WFS no solo permite mostrar la información tal y como lo hace WMS, si no que permite el visionado total y la descarga del conjunto completo de datos.

### WCS (Web Coverage Service)

En ocasiones, la información geográfica está compuesta por propiedades que describen las localizaciones espaciales en términos de un sistema de coordenadas geográficas, es lo que se llama cobertura. La información geográfica puede no ser ni equiespaciada ni temporalmente regular, como ocurre a la hora de representar un MDE. El OGC define el WCS para permitir la recuperación de datos geoespaciales en la forma de cobertura de información geoespacial digital que represente el fenómeno de variación espacial o como entrada de modelos científicos. Este servicio es



especialmente útil para consultar modelos digitales de elevación y cálculo de líneas de horizonte. Las operaciones definidas para un WCS son:

- **GetCapabilities:** Permite conocer los servicios de metadatos y coberturas disponibles.
- **DescribeCoverage:** Muestra una descripción detallada de la cobertura.
- **GetCoverage:** Permite conseguir parte de la cobertura o su totalidad.

Probablemente uno de las coberturas más importantes en una IDE arqueológica sean los MDE, por ello cabe aquí citar el último Modelo Digital de Elevación que ha aparecido ASTER Global Digital Elevation Map (NASA, 2011). El formato es de archivo GeoTIFF con una rejilla de 1x1 grados, cubriendo la superficie terrestre entre las latitudes 83° N y 83° S, con una precisión por debajo de los 10 m.

#### CWS (Catalogue Web Service)

El Web Catalog Service (CWS) ha sido definido por el OGC como interfaces para descubrir y consultar metadatos de los datos. Permite peticiones sobre una diversidad de información en términos de la fuente y el tema. Estos servicios se implementan usando un software de catalogación como Geonetwork. Esto permite descubrir todo tipo de servicios IDE como WMS o WFS usando metadatos de cada servicio, conjunto de datos o capa.

Podemos definir los metadatos como datos de los datos. Es información y documentación que hace los datos geográficos identificables, comprensibles y capaces de ser compartidos por otros usuarios y servicios. Los objetivos de los metadatos son:

- La búsqueda de conjuntos de datos, qué datos existen o están disponibles para una determinada zona, para una escala dada, determinada fecha o característica específica. A partir de ello se almacena información sobre los conjuntos de datos: qué se dice, por qué se preparó, cuando, quien lo produjo y cómo, etcétera.
- La elección entre conjuntos de datos, para comparar entre diferentes fuentes, con el fin de seleccionar solo aquellos que se solapan con las necesidades del usuario final en ese momento.

- El uso, describiendo características técnicas de los datos, para permitir una operación eficiente. Ayuda a los usuarios a mantener y actualizar estos datos.

Los metadatos deben cumplir el estándar ISO 19115:2003 en el que se describe qué esquema se requiere para describir información geográfica y servicios. En él se definen secciones de metadatos obligatorias y condicionales, entidades y elementos de los metadatos.

### 3.4.3. Componentes de una IDE

Los diferentes componentes de una IDE permiten el almacenaje y la distribución de la información geográfica.

- Conjunto de datos. La forma más común de intercambiar información geográfica en arqueología es usando archivos. Algunas veces estos son abiertos y cumplen los estándares pero los problemas aparecen cuando los archivos se guardan en un sistema propietario. Para asegurar la disponibilidad de los datos entre los diferentes servicios, software y usuarios los datos deben almacenarse en formatos estándar del OGC. Los formatos DWG o DWF generados por AutoCAD, o el formato Shape de ESRI son estándares de este tipo. En ocasiones una imagen ráster puede ser usar cuando ha sido georreferenciada, así podemos usar imágenes geoTIFF o archivos JPG y JGW con información sobre la proyección, rotación y escala asociada.
- Bases de Datos Espaciales. Almacena los elementos espaciales y sus atributos o características. Algunas soluciones de software están muy extendidas como PostgreSQL, PostGIS, Oracle Spatial y MySQL. Estos datos son almacenados en tablas usando índices espaciales. Hay un lenguaje espacial para crear tablas y seleccionar, actualizar y borrar registros en ellas, se denomina Simple Feature Access for SQL (SFSQL) (OGC, 2011b). Ello permite tomar las elementos espaciales y representarlos desde un único repositorio a cualquier software.
- Servidores de mapas. Software que permite la publicación de los mapas y provee de los servicios WMS y WFS a través de internet. Algunos ejemplos son GeoServer y MapServer. Los conjuntos de datos espaciales pueden almacenarse como archivos shape, bases de datos espaciales o incluso imágenes ráster georeferenciadas. Los servidores permiten operaciones adicionales tales como

reproducción de capas, realmente útil en el caso de diferentes sistemas de referencia.

- Aplicaciones de escritorio. Las aplicaciones de escritorio tradicionales que permiten el procesamiento de información geográfica. En Arqueología estamos acostumbrados a usar software de Diseño Asistido por Ordenador (CAD), como por ejemplo AutoCAD para producir las tradicionales capas. Pero este proceso no puede generar información estándar. Por ello es recomendable usar programas que lo hagan, algunos son: gvSIG, UDig, QGIS o ArcGIS Desktop.
- Clientes ligeros. Estas aplicaciones son generalmente clientes web que permiten la visión de pequeña cantidad de información geográfica y su gestión desde otras posibles fuentes de datos. Estos clientes son creados APIs como Google Maps u OpenLayers. Su principal utilidad reside en que pueden usarse integrados en otras aplicaciones y que pueden integrar información de diferentes servicios de mapas, tanto arqueológicos como de otro tipo.

Cabe recordar que todos los elementos de una IDE son representados únicamente por unos pocos componentes: puntos, líneas, polilíneas, polígonos y datos ráster.

#### 3.4.4. Las IDEs en los trabajos arqueoastronómicos

Aunque en los últimos tiempos va apareciendo información arqueológica en formato digital, tradicionalmente en arqueología, la documentación se ha venido realizando de forma analógica. Los formatos analógicos acarrearán una serie de problemas geográficos en los proyectos relacionados con elementos geográficos, especialmente en arqueología. No es infrecuente que los proyectos arqueológicos duren varios años y los datos pasen por las manos de varios investigadores que pueden no haber estado previamente en contacto, con la metodología de trabajo analógica los datos no se pueden compartir fácilmente entre personas que se encuentren en diferentes lugares o que estén encargadas de otra parte del proyecto propiamente dicho, tal es el caso de las personas que se encargan de la toma de datos y de las que se encargan de interpretarlos, por ejemplo. El procesamiento digital es igualmente difícil, teniendo que digitalizar cada plano sin la posibilidad de colocar toda la información en el mismo lugar ni soporte.

En los contextos arqueológicos, donde el objetivo que se persigue es conocer la máxima información posible sobre las sociedades humanas, abarcar toda la información posible del mayor número de temas posibles es especialmente importante e interesante. Como ocurre hoy día, no es posible entender una sociedad con una única capa de información de un aspecto social, como puede ser la religión. Cada capa de información debe ser tomada en contexto teniendo en cuenta todos los aspectos de una sociedad del pasado.

Como solución a esto, una IDE es fácilmente aplicable a la investigación arqueológica. De forma sistemática puede realizarse un trabajo de reconstrucción topográfica en cada sitio arqueológico. Ello implica hacer un inventario con todos los hallazgos que se realicen en el yacimiento, junto con su información geográfica. Una IDE permite el inventariado digital, fácilmente publicable en los formatos estándar descritos más arriba. Todos las IDEs son accesible vía internet pero en caso de necesitarlo podemos, lógicamente, restringir el acceso al servidor cartográfico con perfiles de usuario diseñados para cada necesidad. Para generar un inventario digital en una IDE se tienen que cumplir una serie de pasos:

- **Recogida de datos.** Usando GPS, teodolitos, fotografía técnica o LIDAR. Esta última es de especial interés ya que permite la reconstrucción de terrenos y la realización de MDEs de alta resolución. Con un sensor láser colocado en un avión -típicamente a una tasa de entre 20.000 y 50.000 pulsos por segundo- se puede reconstruir el lugar de estudio con una precisión que llega al centímetro.
- **Base de datos espaciales.** Los datos recogidos son georreferenciados y almacenados con su ubicación geográfica para ser finalmente guardados en la base de datos.
- **Geoprocesado.** En la mayoría de los casos es necesario procesar los datos originales, llamados raw data. Dependiendo del trabajo involucrado será una transformación de coordenadas, cambio de estilo de representación, cruzado de datos con otras bases de datos e IDEs, etc.
- **Publicación.** Finalmente se procede a la publicación de los datos vectoriales de la base de datos espacial usando el servidor de mapas.

En Arqueoastronomía podemos volcar nuestros datos como una capa más de un IDE, la forma más simple de hacerlo es mediante el formato GeoRSS GML. Otro

de los estándares que asociada en XML cada elemento con su posición geográfica. Esta opción es mejor que optar por un cliente ligero de los que hemos hablado en el apartado 3.4.3 ya que usa muy poco ancho de banda e incrementa el tiempo de respuesta. También es posible usar el formato abierto geoJSON más compacto que GeoRSS. Esta solución es válida para representar líneas tales como los límites Norte y Sur de un eclipse de Sol, la dirección en la que se produce un determinado evento astronómico, etc.

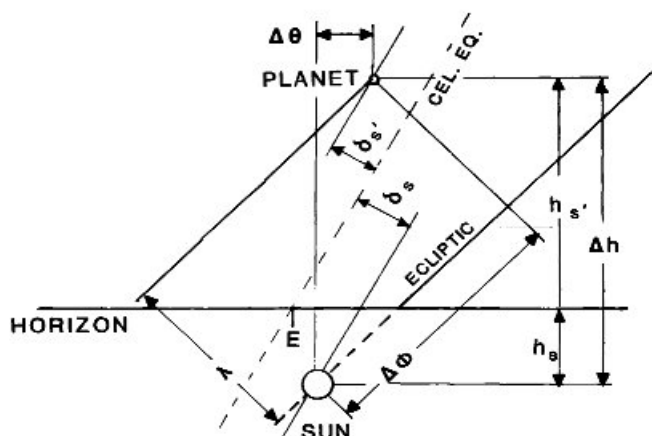
### 3.4.5. Representando Datos Astronómicos

Ahora que se han descrito las IDEs y qué tipo de información podemos obtener de ellas, pasaremos a describir los datos astronómicos que podemos utilizar y que son útiles en los estudios históricos: los ortos heliacales de estrellas brillantes y planetas para determinar posibles alineamientos en los mapas, circunstancias locales de eclipses de Sol y Luna para datar eventos históricos y acimuts sobre el horizonte del orto y el ocaso lunar y solar y paso por el meridiano del Sol en los solsticios y equinoccios.

En el caso de los ortos heliacales utilizaremos la geometría descrita por Robert Purrington (Purrington, 1988). Para comenzar necesitamos conocer el perfil del horizonte desde el punto desde el que hacemos el estudio. Para construirlo, podemos usar como base un MDE, podemos conseguirlo de numerosas fuentes, los más comúnmente usados son los datos que obtuvieron las misiones satelitales SRTM y GETOPO30 (NASA, 2000). A partir de estos datos y la posición del observador podemos reconstruir el perfil del horizonte usando un software de SIG, por ejemplo, gvSIG o QuantumGIS.

El siguiente paso es determinar los puntos del orto y ocaso del Sol. Para asegurarnos una buena precisión debemos tener en cuenta ciertas correcciones en el algoritmo de cálculo.

1. Corrección por precesión.
2. Determinación de la fecha de orto heliacal.
3. Aplicar corrección por refracción.
4. Cálculo del acimut del orto.



**Figura 3.22:** Cambio de posición en el acimut para el orto en el Equinoccio de Otoño (Purrington, 1988)

El resultado de esta corrección puede verse en la figura 3.22.

Para determinar la posición del orto helíaco de forma que sea representable en una IDE se han de desarrollado toda una serie de librerías de software para la aplicación del algoritmo de cálculo a fechas remotas como 4.000 a.C. Para el cálculo de la precesión se ha aplicado el algoritmo descrito por José Gómez (Gómez Castaño, 2006) y el método descrito en la última edición del Explanatory Supplement (USNO, 1992) para la corrección por refracción atmosférica.

Como referencia de posición de estrellas y movimientos propios se ha tomado el catálogo FK5 (Fricke y otros, 1991) y el Catálogo de Estrellas Brillantes (Hoffleit y Warren Jr, 1991) para las posiciones de las estrellas de acuerdo con el sistema de referencia J2000.0. Este sistema se basa en el concepto de día juliano (JD) que por convención es el número de días transcurridos desde el 1 de Enero de 4713 a. de C., en este sistema J2000.0 se expresa como 2451545.0. La fecha juliana es independiente del calendario que utilizemos y por lo tanto de la cultura en la que se produce el evento astronómicas y de las correcciones culturales calendáricas.

En relación a las posiciones planetarias en épocas tan antiguas quizás la forma más inmediata y sencilla sea usar el software que provee JPL, JPL Horizons. Este programa permite conocer las posiciones planetarias, en épocas pasadas, usando la teoría JPL DE406 que no incluye ni nutaciones ni libraciones. Se refiere al marco de referencia celeste internacional y su validez temporal comprende entre JED 0624976.50 (-3001 FEB 04) hasta JED 2816912.50 (+3000 MAY 06), con JED (Julian

Ephemeris Date) definido según la relación 3.24. En cualquier caso, es posible desarrollar una aplicación personalizada con los coeficientes que se describen en esta teoría.

$$JED = JD + \frac{(32,184 + 30)}{86400,0} \quad (3.24)$$

A partir de las posiciones de los planetas, el Sol o las estrellas, puede determinarse el punto del horizonte por donde estos astros aparecen o desaparecen. El acimut de estos puntos se dibuja en un archivo shape o se genera una capa vectorial que es distribuida vía IDE.

Una vez que, gracias a estos cálculos, se consigue la efeméride del acimut del orto para cada objeto, se lleva el resultado a la hora y lugar del yacimiento arqueológico de interés. En el lugar se prueban los datos para conseguir los posibles alineamientos. Y finalmente se pueden usar estos datos como capas en un interfaz IDE que nos permitirá comprobar si los alineamientos astronómicos obtenidos tienen, a su vez, contrapartida con elementos terrestres, topográficos o arquitectónicos.

Por otro lado, para una posición determinada se pueden datar eventos y hallazgos arqueológicos por medio de las parámetros locales de un eclipse. La posible visibilidad de un eclipse puede ser calculada a partir de los mismos *besselianos* del eclipse. En recientes fechas, Fred Spenak ha publicado el *Five Millennium Catalog of Solar Eclipses -1999 to +3000* (Spenak y Meeus, 2009). Estas efemérides podrían ser una herramienta importante a la hora de datar algunas culturas del pasado.

Llegados a este punto, es claro que la mayor ventaja de usar las IDEs es encapsular la complejidad de los cálculos astronómicos, proveyendo al arqueólogo solamente de la información necesaria y relevante.

### 3.5. Estudio metodológico comparativo

A lo largo del presente capítulo han ido apareciendo diferentes metodologías, astrogeodésicas y basadas en observaciones GNSS, que se pueden utilizar en Arqueoastronomía. Sin embargo, es necesario probar su validez en entornos arqueológicos en diferente grado de conservación. También es necesaria una comparación para conocer la precisión y exactitud de las medidas que obtendremos en el transcurso de toma de datos tanto de forma individual como comparativa, así como las virtudes y defectos generales de cada uno de los métodos, de nuevo de forma individual y comparativa.

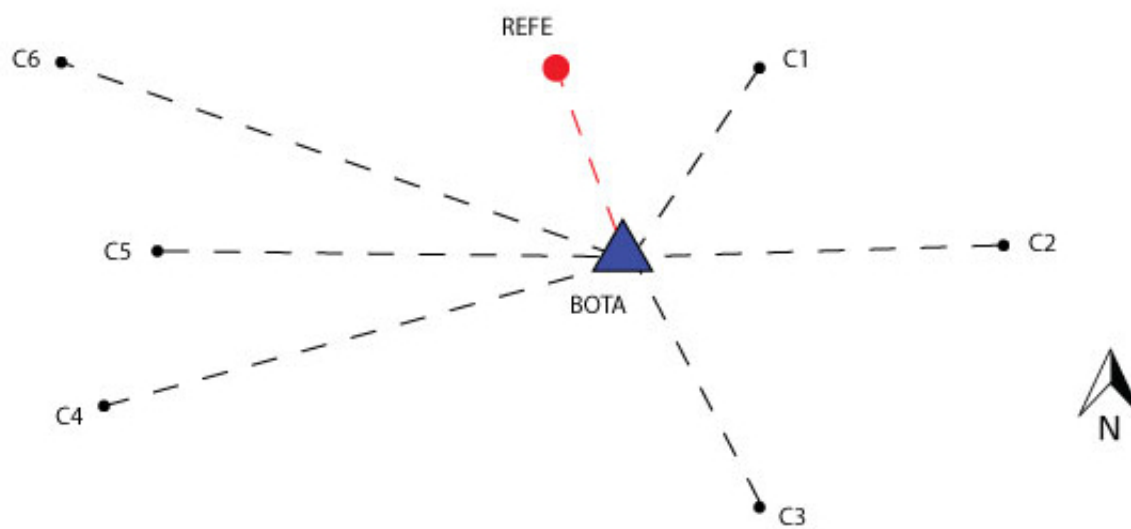
Del mismo modo se analizan los diferentes instrumentos que se utilizan:

- Teodolito Wild T2. Figura 3.24 a)
- Estación Total (E.T.). Figura 3.24 b)
- Receptor GPS Monofrecuencia Astrech Promark2 (GPS Mono). Figura 3.24 c)
- Receptor GNSS Bifrecuencia Leica 1200 (GPS Bi). Figura 3.24 d)

Partiendo de esta información podremos determinar cual es la técnica de medida y el instrumento más adecuado para determinar las posibles orientaciones en relación al paisaje físico o ritual en función de la situación de conservación en la que se encuentre el lugar en estudio.

Para poder evaluar estos aspectos de la metodología se diseñó una configuración de puntos a modo de simulación de sitio arqueológico, cuyos puntos marcarían esquinas de estructuras rectangulares o la dirección de lienzos de muralla. La configuración final puede verse en la figura 3.23. El trabajo se realizó dentro del marco de dos proyectos en los que he participado: **Trabajos arqueológicos en el yacimiento de Los Rodiles (Cubillejo de la Sierra, Guadalajara)**, sufragado por la Consejería de Cultura de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha. Y **Aplicación de tecnologías GPS a Arqueología. ARQUEOGPS**, financiado por el antiguo Ministerio de Educación y Ciencia. Este trabajo dio lugar a la participación en el Congreso de la Sociedad Europea de Astronomía Cultural (SEAC), celebrado en Granada (Rodríguez-Caderot y otros, 2009) y a una contribución en el VIII Congreso Ibérico de Arqueometría que, por primera vez en su historia, acogía una sesión de Arqueoastronomía (Mejuto y Rodríguez, 2010).





**Figura 3.23:** Configuración de puntos. BOTA corresponde al punto central y REFE el punto de referencia para la toma de ángulos

Los métodos comparados fueron los siguientes:

#### A. MÉTODOS GEODÉSICOS CLÁSICOS

- A1. Determinación del Acimut a partir de observaciones solares con teodolito WILD T2. En este caso se determina el ángulo acimutal estacionando el aparato en el punto extremo de una de las direcciones que queremos determinar, primero el acimut de una referencia bien escogida para que sea fija, distante y fácilmente visible para poder hacer puntería con el teodolito, por el tradicional método de observación y determinación del acimut del Sol. A continuación, se miden los ángulos horizontales entre la referencia y los distintos puntos que van a marcar las direcciones de interés. Se realizan medidas en círculo directo e inverso para minimizar errores. Es necesario realizar registros precisos del tiempo de observación y de las condiciones atmosféricas para después corregir los datos de refracción atmosférica y semidiámetro del Sol, así como de los errores propios de estos métodos: error de cierre horizontal y error de eclímetro (error de las lecturas verticales), ver sección 3.2.2. Las efemérides solares se obtuvieron a partir del programa Alcyone. El método de reducción de las

observaciones es largo y requiere una cantidad apreciable de tiempo. Las observaciones pueden verse en A4.1 y A4.2.

- A2. Medida de ángulos horizontales con Estación Total. Supuesto conocido el acimut de una referencia (método anterior), se ubica la estación total en el extremo de una de las direcciones cuyo acimut queremos determinar y se realizan lecturas de ángulos horizontales a los extremos de las direcciones cuyos acimuts queremos determinar. Solamente es necesario realizar las medidas de ángulos horizontales y solo en un círculo. En este caso el proceso de reducción de las observaciones -que pueden verse en A4.3- es rápido
- A3. Medida de ángulos horizontales con Estación Total usando medidas rápidas de ángulos.
- A4. Determinación de acimuts por medidas indirectas. Se utilizaron métodos geométricos de resolución de triángulos para obtener los ángulos no conocidos.

## B. MÉTODOS GEODÉSICOS CON GNSS

- B1. Posicionamiento estático relativo con receptores monofrecuencia. Haciendo uso de los diversos métodos de trabajo con GNSS se puede obtener el acimut de una dirección de una forma rápida y precisa. Para este caso se utiliza los Astech PROMARK II como receptor GPS y como método de trabajo, el método estático rápido, en el que un receptor se estaciona en un punto de coordenadas conocidas y el resto de receptores se posicionan en los extremos de las direcciones cuyo acimut queremos determinar y se realizan sesiones de observación de unos quince minutos. El procesamiento de los datos (ver 3.3.5), se puede llevar a cabo con el software proporcionado por el fabricante del receptor y se realiza de forma rápida. Los datos pueden consultarse en A4.4.
- B2. RTK (Real-Time Kinematic) con receptores bifrecuencia. En este método se utilizó como receptor GNSS el Leica 1200 conectado a una red RTK que proporciona correcciones en tiempo real, en particular la red RTK IBEREF de la casa Leica. El método de trabajo es simple ya que no se necesita conocer de antemano las coordenadas geográficas de ningún punto. Se estaciona el receptor o receptores GNSS en los puntos de interés y en sesiones

de observación de unos pocos minutos se obtienen las coordenadas en tiempo real con errores de centímetros. Los datos pueden verse en A4.5.

B3. Determinación de coordenadas de los puntos

B4. Computación de la posición geodésica. Determinación del acimut entre dos puntos.

En este estudio no se incluyen los que se vienen usando en los trabajos arqueoastronómicos, en particular brújula y clinómetro en los que se ronda las precisiones de  $0.25^\circ$ . Indudable los métodos estudiados son comparativamente muy superiores a las precisiones que se consiguen con la brújula y clinómetro, es por ello que no tiene sentido incluirlos.



**Figura 3.24:** Instrumentación utilizada. De izquierda a derecha: a) Teodolito, b) Estación Total, c) Receptor GPS Monofrecuencia y d) Receptor GNSS Bifrecuencia

Entre los métodos geodésicos clásicos que aparecen en la relación superior, el método A1, la determinación del Azimut a partir de observaciones solares con teodolito ya ha sido expuesto con anterioridad (ver 3.2.2). Los métodos A2 y A3 pueden verse explicados ampliamente en (Wolf y Ghilani, 2002, Capítulo 8-Parte II) y el restante método A4 en (Wolf y Ghilani, 2002, sección 9.15). Para los métodos geodésicos con GNSS, la determinación del acimut mediante estos métodos también ha sido descrita en el apartado 3.3.5.

En este estudio comparativo partimos de un acimut conocido, el de la línea BOTA-REFE que usaremos en algunos de los métodos de medida que aparecen en la relación de métodos geodésicos. Para comenzar, se midió la línea de acimut BOTA-C3 con los diferentes métodos que aparecen en la tabla 3.4. En este caso, se comenzó usando una combinación de las técnicas A1+A2, que junto a la combinación A1+A3 tienen la misma precisión. Si bien el coste económico es un poco mayor para la Estación Total que para el Teodolito, su mayor comodidad y rapidez a la hora de tomar

las medidas así como su versatilidad en el campo, hacen que en la actualidad las estaciones totales sean un accesorio común en el trabajo arqueológico de campo. Por lo tanto, si tenemos que elegir entre los dos parece claro que debemos decantarnos por la Estación Total.

Cuando entran en juego las técnicas GNSS en las combinación de técnicas B1+B3+B4 y B2+B3+B4 estamos en errores entorno a 1 cm para receptores monofrecuencia y a 1 mm para receptores bifrecuencia. Cabe destacar que en estos casos no es necesario conocer el acimut de una línea de referencia previamente y podemos trabajar desde el principio con total libertad y rapidez. Estas precisiones comentadas son realmente elevadas pero nos topamos con el elevado coste económico de los receptores bifrecuencia. Por otro lado, en muchas ocasiones las precisiones en torno al centímetro son suficientes, sobretodo si lo que queremos es una evaluación rápida y preliminar del lugar de estudio. Es decir, si nos encontramos en un lugar típico de estudio donde el número de estructuras a estudiar no es elevado no parece justificado el gasto que supone un receptor bifrecuencia como el utilizado en el trabajo. Sin embargo, en el caso de un número elevado de estructuras a estudio la inversión podría compensar ya que la toma de medidas mediante RTK es un 86.6 % más rápido que los métodos GNSS estáticos y entre un 90-94.6 % más rápido que los métodos geodésicos clásicos.

A las mismas conclusiones llegamos para la medición de la línea de acimut BOTA-C2 con los diferentes métodos indirectos que aparecen en la tabla 3.5. Estos métodos indirectos sobretodo varían al usar el teodolito y la Estación Total (métodos combinados A1+A2+A4 y A1+A3+A4), ya que en el caso de las técnicas GNSS el método no varía. Tanto el tiempo que hay que invertir en la toma de datos como los precios son equivalentes tanto en los métodos directos e indirectos, tampoco se aprecia un cambio en la precisión de medida. Tanto en el caso de las técnicas directas como en las indirectas, se han probado diferentes modelos con precios de mercado diferentes sin apreciarse diferencia para las precisiones en las que nos movemos en Arqueología y Arqueoastronomía. Esto es especialmente cierto para el caso de los GPS bifrecuencia y monofrecuencia en los que los precios de mercado en el primer caso son sensiblemente mayores a los de cualquier instrumento utilizado en este caso.

A los tiempos que aparecen en las tablas comparativas (tablas 3.4 y 3.5), para los métodos de radiación usando Teodolito y Estación Total hay que añadir un tiempo extra de cálculo de datos como la declinación solar, UT, el semidiámetro solar, et-

cétera. Así como las correcciones por error instrumental y corrección por refracción que se realizan en gabinete.

| MÉTODO   | AZIMUTH   | TIEMPO | PRECISIÓN | EQUIPO    | PRECIO |
|----------|-----------|--------|-----------|-----------|--------|
| A1+A2    | 166°.7453 | 30 MIN | 1'        | TEODOLITO | BAJO   |
| A1+A3    | 166°.6635 | 20 MIN | 1'        | E.T.      | MEDIO  |
| B1+B3+B4 | 166°.4374 | 15 MIN | CM        | GPS MONO  | BAJO   |
| B1+B2+B4 | 166°.5871 | 2 MIN  | MM        | GPS BI    | ALTO   |

**Tabla 3.4:** *Métodos directos, dirección BOTA-C3*

Por lo tanto, parece interesante tomar cierto tiempo para reflexionar en el tipo de yacimiento que estamos estudiando y elegir una metodología de toma de datos y una instrumentación adecuada. El uso combinado de métodos astronómicos y geodésicos es útil en aquellos yacimientos que no requieran el estudio de muchas estructuras o la comprobación de un gran número de orientaciones, mientras que los métodos geodésicos que hacen uso del GNSS son útiles para yacimientos con un gran número de estructuras que requieran un gran número de mediciones. Sin embargo, los métodos geodésicos clásicos están constreñidos a la intervisibilidad entre los puntos que se miden. En estos casos se requieren los métodos con GNSS, en particular recomendando los receptores monofrecuencia con métodos Rapid Static Relative Positioning frente a los bifrecuencia con Real-Time Kinematic, como ya se ha comentado, por su precio sensiblemente menor.

| MÉTODO   | AZIMUTH  | TIEMPO | PRECISIÓN | EQUIPO    | PRECIO |
|----------|----------|--------|-----------|-----------|--------|
| A1+A2+A4 | 86°.6947 | 30 MIN | 1'        | TEODOLITO | BAJO   |
| A1+A3+A4 | 86°.4830 | 20 MIN | 1'        | E.T.      | MEDIO  |
| B1+B3+B4 | 86°.5450 | 15 MIN | CM        | GPS MONO  | BAJO   |
| B1+B2+B4 | 86°.4269 | 2 MIN  | MM        | GPS BI    | ALTO   |

**Tabla 3.5:** *Métodos indirectos, dirección BOTA-C4*

Sin duda, el método de medida y la precisión de la instrumentación juegan un papel clave en cualquier campaña de medida que tiene que ser combinado con el coste de los equipos. En cualquier caso -y como conclusión- podemos decir que no hay una respuesta única, es una decisión que depende de cuatro variables como se ve en la figura 3.25. Es decir, depende del estado de conservación del yacimiento

sobre el que estamos trabajando, así como la complejidad del estudio en el que estamos inmersos. Depende de la precisión necesaria para el estudio, del presupuesto que tengamos y la velocidad con la que necesitemos tomar los puntos. Por lo tanto, el estudio previo y minucioso de la zona de trabajo y de sus posibles limitantes para los métodos geodésicos clásicos y los basados en GNSS determinará el uso de uno de los métodos frente al otro o la combinación de ambos.



**Figura 3.25:** Gráfica de decisión para los métodos de medida

---

## Capítulo 4

# Estudios arqueoastronómicos realizados

---

Si bien las técnicas expuestas en el capítulo 3 son métodos sobradamente demostrados y utilizados en los contextos respectivos de las diferentes ciencias aplicadas, no lo han sido de la misma manera en el contexto de investigaciones arqueoastronómicas. Nuestro trabajo, pues, ha consistido en aplicar esas metodologías fiables y rigurosas en diversos entornos de investigación reales.

Podemos dividir los estudios realizados en dos grandes grupos: los trabajos realizados dentro del ámbito de la cultura celtibérica y los trabajos realizados en otros períodos cronológicos. Dentro del primer grupo de trabajos, que es el más extenso, se encuentran los estudios realizados sobre las necrópolis de incineración que incluyen tanto los contextos arqueológicos celtibéricos como otros cementerios de mayor antigüedad correspondientes a los Campos de Urnas/Bronce final de Cataluña. En estos estudios se utilizaron técnicas astrogeodésicas, especialmente datos GPS, instrumentación geodésica y tratamiento matemático de los datos geográficos.

A continuación se presenta el trabajo -totalmente inédito- realizado en las cercanías de Cubillejo de la Sierra. El estudio se ha llevado a cabo sobre un posible santuario celtibérico teniendo en cuenta una eventual conexión con el oppidum de celtibérico-romano de Los Rodiles. Dentro de este trabajo se utilizan técnicas astrogeodésicas y geodésicas para la realización de un levantamiento topográfico completo del santuario. Se desarrolló un Modelo Digital de Elevación de la zona y, del mismo modo, se realizó un modelo tridimensional del cielo de la época tomando el horizonte real del lugar.

El último trabajo presentado se realizó en los recintos de fosos neolíticos del alentejo portugués. En este estudio se aplican las técnicas astrogeodésicas al desarrollo de una capa de información astronómica y arqueoastronómica en un Sistema de Información Geográfica.

## 4.1. Las necrópolis de incineración

La primera aplicación de los métodos establecidos y comentados anteriormente fue sobre las necrópolis celtibéricas. El estudio parte de los trabajos que se ubicaron en la necrópolis de Herrería, dentro del complejo arqueológico de El Ceremeño y fueron llevados a cabo por su directora, la profesora Cerdeño y la profesora Rodríguez-Caderot -junto con las profesoras Folgueira y Hernando Lucendo- y en los que participé activamente en calidad de estudiante. Los resultados pueden verse en Rodríguez-Caderot y otros (2006), Cerdeño y Sagardoy (2007) y Cerdeño y otros (2004). Las motivaciones para acometer un estudio arqueoastronómico dentro del proyecto arqueológico fueron varias. Primeramente, el interés por este tipo de estudio surgió por la necesidad de atender a la vinculación que los grupos prehistóricos mantenían con el espacio celeste ya que la Arqueología, en aquella época, ya llevaba tiempo interesándose por cómo el espacio se relacionaba con los pueblos de la antigüedad. Si bien, parecía claro que la relación de estos pueblos era clara y directa con el espacio que les rodeaba debía estudiarse la relación con el olvidado, por la Arqueología espacial, espacio celeste. Se trata, por lo tanto, de una expansión del trabajo y las conclusiones aportados previamente para la fase I, II y III de la necrópolis de Herrería y que se detallan a continuación.

Desde el comienzo del estudio de la cultura celtibérica y del mundo celta europeo en general se aludió a las representaciones astrales como parte del imaginario de aquellos pueblos ((Aguilera y Gamboa, 1909, pp. 101-ss), Royo y Gómez (2005-2006)). Por citar alguna de aquellas primeras interpretaciones, recordamos la propuesta por el marqués de Cerralbo al interpretar el collar de cuentas de barro encontrado en la necrópolis de Clares (Aguilera y Gamboa, 1916). Aunque la reconstrucción que hizo hay que considerarla ideal, reproducimos aquí a continuación sus consideraciones sobre este objeto:

*“Notabilísima singularidad de un collar que encontré en una sepultura y dentro de una urna cineraria: collar que armé denominándolo sideral por inducirme a la hipótesis de haber pertenecido a una sacerdotisa del culto del Sol, por los objetos que constituyen este único y*



*admirable collar: pues lo componen cuatro ruedas que en la Antigüedad siempre representaron también al sol, como los cuatro cuernos de la luna, la diosa Eaco de los celtíberos en sus cuatro fases y los cuatro cisnes del viaje nocturno del Sol en la barca que, tirada por un cisne que surcaba el Océano para aparecer todos los días por oriente."*

*"Y los cuatro cisnes son de cuatro tamaños representando ser más grandes y fuertes según la duración del viaje lo exigía, así el mayor condujera al sol en el solsticio de invierno con sus noches más largas: el cisne que le sigue en tamaño al equinoccio de otoño, el cisne tercero al de primavera y el cisne más pequeño al solsticio de verano con sus noches más cortas, y por consiguiente de más breve navegación. Los demás objetos de tan excepcional sepultura son el aparato para sostener sobre la cabeza las altas las caperuzas de las sacerdotisas y varios adornos conocidos."* (Aguilera y Gamboa, 1916)



**Figura 4.1:** Reconstrucción ideal del collar de la sacerdotisa del Sol, pieza encontrada en la tumba nº 53 de la necrópolis de Clares y que Cerralbo consideró de carácter astronómico.

Aquellas primeras alusiones fueron recogidas por autores posteriores:

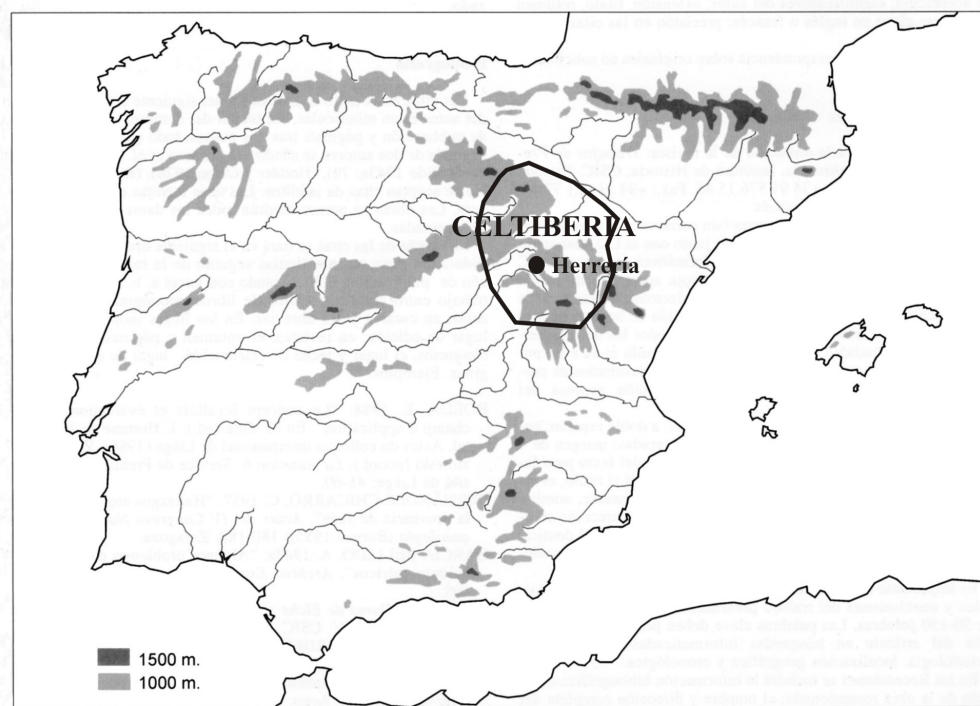
*“El collar que apareció en esta sepultura consta de elementos simbólicos importantes: los cuernos de la Luna, la rueda solar, los cisnes, todos ellos íntimamente relacionados con un mismo tema: la muerte, el viaje al Más Allá y el renacer nuevamente, aspectos que pueden indicar su creencia en la inmortalidad de las almas. Del mismo que la cruz señala cuatro puntos importantes en el cosmos, así el collar tiene cuatro puntos centrales, que son las ruedas celestes con los cuernos en un lado y los cisnes en el opuesto. El cisne juega un papel muy importante en la literatura céltica; además de las propiedades mágicas que se le atribuyen, es el mediador entre el hombre y los Dioses, se comunica con ellos en ese viaje a través del Más Allá. El año es un viaje que abarcaría los cuatro puntos cardinales, así se asegura la continuidad del ciclo cósmico, ayudando al mundo en todas las fases de la Luna y el cambio de estaciones. La vida está presente sólo donde la regularidad de la naturaleza no parece detenida por las fuerzas de la muerte, un continuo avance en el universo, una regeneración periódica. Así aparece la rueda como círculo que no tiene principio ni fin, el cisne como símbolo de ese vuelo al Más Allá, y los cuernos de la Luna como el culto a los poderes fecundos y creativos de la Naturaleza.”*(Malpesa Montemayor, 1993)

Independientemente del mencionado collar, los especialistas aceptan la existencia de un grupo dedicado al culto (Marco, 1987, pp.55-ss), (Sopeña, 1987, pp. 53-ss), que sin duda tuvo implicaciones con los conocimientos astronómicos.

#### **4.1.1. La necrópolis celtibérica de Herrería**

La necrópolis de Herrería III está asociada al castro de El Ceremeño I situados ambos en el municipio de Herrería en Guadalajara, en la comarca de Molina de Aragón a unos 8 kilómetros de la propia capital del mismo, Molina de Aragón. Las coordenadas del yacimiento son 40° 53' N de latitud y 1° 57' W de longitud en coordenadas geográficas y coordenadas UTM (4526415.406, 588466.872), siendo su altura sobre el nivel del mar de 1.137 metros. La situación de la necrópolis coincide con la terraza del arroyo Saúco que desemboca en el río Gallo que a su vez es el primer afluente del Tajo en su margen derecha.

El yacimiento se ubica plenamente en el territorio histórico de la Celtiberia como puede verse en la figura 4.2, si bien es cierto que los límites de aquella región histórica no están en absoluto unívocamente determinados, podemos estimar que abarcaría a groso modo desde el Ebro medio hasta el Alto Duero, y del sur de la actual provincia riojana hasta el norte de la actual provincia de Cuenca, quedando incluidas las parameras de Molina y Sigüenza.



**Figura 4.2:** Situación de la necrópolis de Herrería en el marco de la región histórica de la Celtiberia

La necrópolis se descubrió tras una exhaustiva prospección que comenzó con la excavación del castro de El Ceremeño en los primeros años de la década de los 90. Tras explorar las zonas circundantes al castro se centraron los esfuerzos en la vega del río Saúco, difícilmente prospectable debido a que es la única zona cultivable de los alrededores. Finalmente en el otoño de 1997 se encontraron los primeros indicios arqueológicos de la necrópolis que se sitúa en la orilla opuesta de dicho río a unos 500 metros de la base de la colina donde se sitúa el castro. En la figura 4.4 podemos ver la paleotopografía del terreno donde se encuentra la necrópolis y como caía en suave pendiente hacía el río.

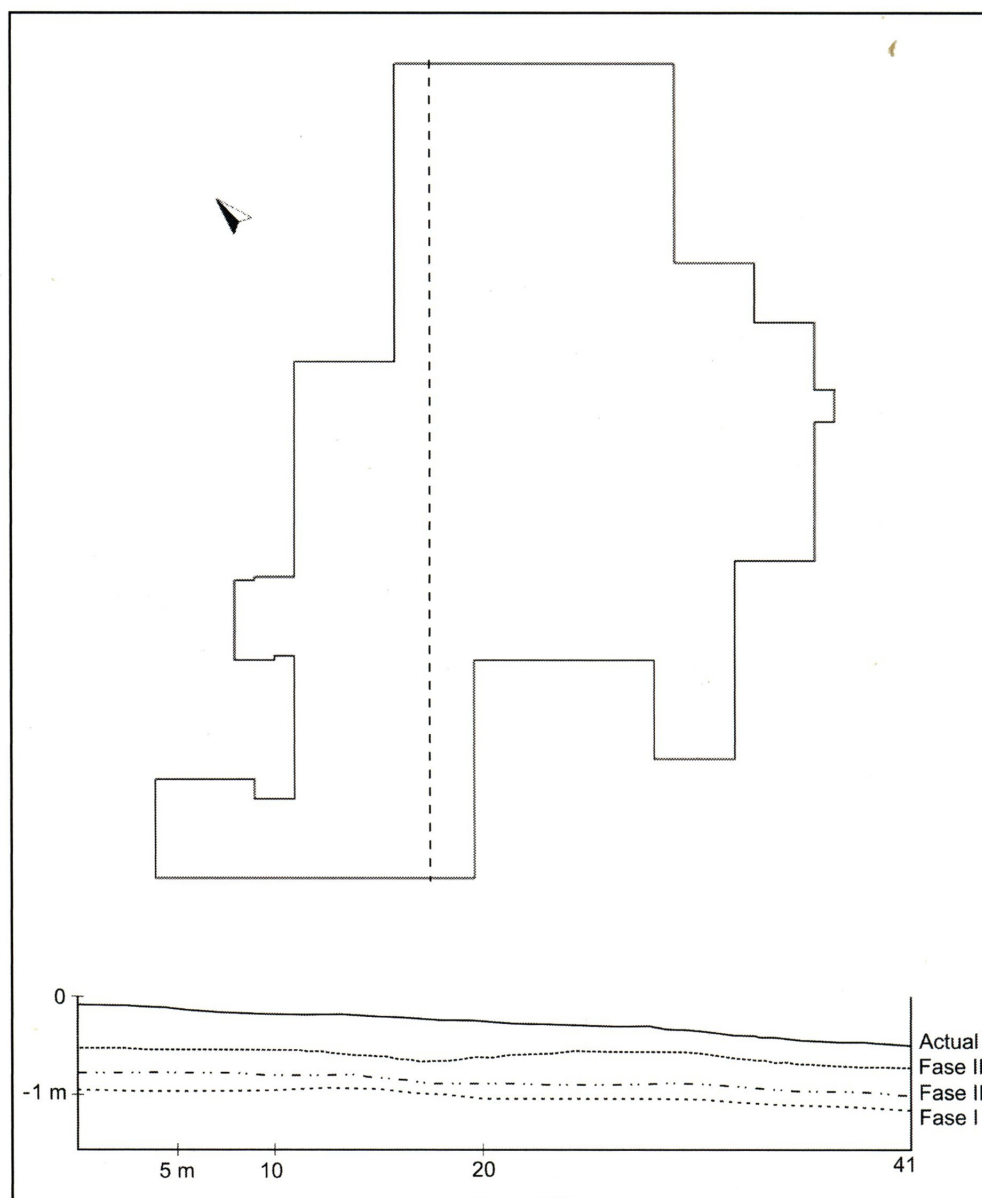
Tras la excavación de la necrópolis se identificaron cuatro fases que corresponden a momentos sucesivos de utilización: Herrería I, II, III y IV. Existe aún una quinta fase, Herrería V que corresponde con una utilización muy posterior del mismo espacio, ya en época histórica, y que no tiene relevancia a efectos del presente trabajo. Esto implica una utilización reiterada del mismo recinto durante más de 500 años (siglos XI-V a.C.).



**Figura 4.3:** *Visión panorámica del complejo arqueológico de El Ceremeño con el poblado a la derecha y la necrópolis a la izquierda*

**Herrería I:** Se trata del primer nivel y el más antiguo uso de la necrópolis que se estudió a través de 66 enterramientos sobre una superficie de 700 m<sup>2</sup>, ver figura 4.7. Se trata de un estilo de enterramiento muy específico de este yacimiento y consiste en la cremación completa del cadáver y su colocación directa en un hoyo en la tierra solamente señalado por una estela de piedra clavada verticalmente, figura 4.6. Dichas estelas poseen gran variedad en su longitud yendo desde las decenas de centímetros hasta pasado el metro. Las fechas que resultan de la datación por radio-carbono exceden ligeramente el año 1.000 (1200 cal.) situando, por lo tanto, esta fase de utilización en el siglo XI a.C. (XIII a.C. cal.).

**Herrería II:** Se identificaron 229 tumbas en esta fase, dispersas sobre una extensión aproximada de 750 m<sup>2</sup>, ver figura 4.8. A pesar de que sigue siendo mayoritaria la cremación aparecen algunas tumbas con inhumación. Quizás la mayor diferencia o novedad que aparece en esta fase es la señalización de los enterramientos que, en este caso, se encuentran bajo túmulos o empedrados, figura 4.9. Las fechas que arrojan los análisis de C-14 son IX-VIII a.C. (X-IX a.C. cal.).



**Figura 4.4:** Paleotopografía de la zona donde se encuentra la necrópolis de Herrería. Tomado de Cerdeño y Sagardoy (2007).





**Figura 4.5:** *Excavación de la necrópolis de Herrería*

Las características formales de esta fase permiten usar como paralelos, las necrópolis de Los Castellet I y II de Mequinenza, La Colomina, Coll del Moro y la necrópolis de La Loma de los Brunos.

**Herrería III:** Se documentan 153 enterramientos prácticamente *in situ* aunque modificados en su parte superior (ver figura 4.11). Se trata de nuevo de incineraciones (4.10) aunque aparecen diferencias en su estructura y en la señalización externa de las tumbas. La datación se realizó a través del material arqueológico encontrado en las tumbas, confirmado con datación por radiocarbono, resultando en el período Celtibérico Antiguo, siglos VII-VI a.C. (VIII-VII a.C. cal.)

**Herrería IV:** Es la última fase del periodo protohistórico de la necrópolis, según el estudio de los materiales encontrados en este nivel se trata de un periodo celtibérico posterior al correspondiente al nivel Herrería III. En particular, corresponden con el período Celtibérico Pleno/Tardío, siglos VII-VI a.C.

**Herrería V:** Se trata de una fase muy diferenciada y posterior a las anteriores. Corresponde a un uso varios siglos después de la correspondiente a la fase Herrería IV, todo parece indicar que en época medieval o posterior aunque solamente se encuentra representado por 3 inhumaciones.



**Figura 4.6:** Señalización de los enterramientos de Herrería I

Un resumen de la datación y las principales características de las diferentes fases de la necrópolis de Herrería puede verse en la tabla 4.1 y puede verse ampliada en Cerdeño y Sagardoy (2007).

Actualmente, el estudio arqueoastronómico se ha realizado para los niveles de ocupación Herrería I, II y III quedando pendiente el nivel Herrería IV. Comenzaremos por orden de antigüedad, por los niveles de ocupación Herrería I y II correspondientes con el siglo XI y IX a.C. respectivamente y, como ya se comentó anteriormente, con gran diferencia en los ritos de enterramiento.

La campaña de observación, dentro del Proyecto de Investigación Complutense PR78/02-10930, se desarrolló durante el mes de Agosto del año 2002 y en ella se usaron varias técnicas astrogeodésicas. El primer trabajo que se llevó a cabo fue el de dotar de coordenadas tridimensionales a tres hitos de referencia en el interior de la necrópolis (hito 1) y en la periferia de la necrópolis (hitos 2 y 3). Para ello se utilizó un receptor GNSS bifrecuencia, un teodolito y una estación total. Los hitos 2 y 3 conforman la llamada línea de referencia arqueológica y determinar su acimut

fue la siguiente tarea que se llevó a cabo mediante la técnica de observación solar 3.2.2 con un teodolito Wild-T2, el mismo que se utilizó para determinar el acimut de la línea Hito 1-referencia. Una vez realizado esta medida se hizo uso de la estación total y mediante el método de radiación (3.5) se tomaron los ángulos y distancias de todas las inhumaciones. Las planimetrías se realizaron a partir del valor del acimut de la línea arqueológica, los pares de coordenadas (x,y).

En el caso de los niveles que nos ocupan se calcularon los acimuts de varios eventos astronómicos de interés (ver figura 4.13), en particular: el acimut del orto y el ocaso del Sol en los solsticios de verano e invierno, el acimut de las paradas mayores y menores de la Luna, el acimut del orto y ocaso en los ortos helíacos de ciertas estrellas que coincidían con las principales fiestas celtas (Imbolc, el 1-2 de Febrero, Beltaine el 1 de Mayo Lughnasadh en agosto y Samonios el 1 de Noviembre).

Los valores de los acimuts de los eventos astronómicos pueden verse en la tabla 4.2, donde los eventos astronómicos ahora y a partir de ahora se corresponderán con:

- WSSR - Winter Solstice Sun Rise
- WSSS - Winter Solstice Sun Set
- SESR - Spring Equinox Sun Rise
- SESS - Spring Equinox Sun Set
- SSSR - Summer Solstice Sun Rise
- SSSS - Summer Solstice Sun Set
- AESR - Autumn Equinox Sun Rise
- AESS - Autumn Equinox Sun Set

Esta nomenclatura, si bien no es un estándar, comienza a serlo de facto en un número creciente de publicaciones arqueoastronómicas. Es una nomenclatura que considero muy apropiada, y que como digo, usaré de ahora en adelante. Haré extensivo dicho método para otros eventos astronómicos como la parada mayor lunar LMSR (Lunar Major Standstill Rise), LMSS (Lunar Major Standstill Set) según vayan apareciendo siguiendo siempre el convenio de cuatro siglas.



Estos cálculos se realizaron para dos fechas distintas haciéndolas corresponder con las fechas en las que están datados los niveles de ocupación. En el caso de Herrería I se utilizó 1000/1200 a.C., 800 a.C. para el caso de Herrería II y 500 a.C. para Herrería III. Aunque varían los acimuts de los ortos y ocasos del Sol y de las paradas lunares, no lo hacen salvo unos pocos segundos de arco y, por tanto, aquí se darán solo con una aproximación en grados, utilizando el mismo valor para ambas fechas. En el resto de casos, haremos diferenciación entre las dos épocas tratadas.

| Fase         | Datación                                 | Rito funerario          |
|--------------|--|-------------------------|
| Herrería I   | Campos de Urnas/Bronce Final, s. XI a.C. | Incineración            |
| Herrería II  | Campos de Urnas/Bronce Final, s. IX a.C. | Incineración/Inhumación |
| Herrería III | Celtibérico Antiguo, s. VII-VI a.C.      | Incineración            |
| Herrería IV  | Celtibérico Pleno/Tardío, s. IV-III a.C. | Incineración            |
| Herrería V   | Histórica                                | Inhumación              |

**Tabla 4.1:** Resumen de las principales características de las diferentes fases de la necrópolis de Herrería. Adaptado de Cerdeño y Sagardoy (2007).

### Herrería I

Una vez realizado el cálculo del acimut de la línea de referencia arqueológica se elaboró un plano con las coordenadas (x,y) de todas las tumbas de la fase Herrería I, respecto a los puntos cardinales del horizonte. El resultado puede verse en la figura 4.14. A continuación se midieron las orientaciones de cada una de las estelas con respecto a los puntos cardinales, como previamente durante la excavación se habían medido sus ángulos con respecto a la línea de referencia arqueológica se pudieron obtener fácilmente los respectivos acimuts. Hay que tener en cuenta que las estelas no son elementos puntuales y que, por lo tanto, su orientación puede ser tomada respecto a ambos extremos.

Respecto al norte del extremo A de las estelas, se observaron un total de 6 grupos entre las 31 tumbas de esta fase de utilización de la necrópolis:

- **Grupo 1.** En este grupo se encuentran 6 enterramientos que corresponden con un acimut  $20^{\circ}.8$  y una declinación de  $44^{\circ}$ .

- **Grupo 2.** Lo conforman 9 tumbas con un acimut de  $110^{\circ}.8$  y una declinación de  $-15^{\circ}.3$ .
- **Grupo 3.** El total de tumbas es de 7 con un acimut de entre  $140^{\circ}$  y  $165^{\circ}$  y una declinación entre  $-34^{\circ}.7$  y  $-45^{\circ}.8$ .
- **Grupo 4.** En este caso los acimuts oscilan entre los  $45^{\circ}$  y los  $56^{\circ}$  y las declinaciones entre  $31^{\circ}.7$  y  $24^{\circ}.6$  para un total de 7 tumbas.
- **Grupo 5.** En este grupo entran dos enterramientos con acimuts  $120^{\circ}.8$  y  $130^{\circ}.8$  y declinaciones  $-22^{\circ}.37$  y  $-29^{\circ}.1$ .
- **Grupo 6.** El último grupo está formado únicamente por un elemento con acimut  $172^{\circ}.8$  y declinación  $-47^{\circ}.5$ .

Se observó que las estelas del grupo 2 coincidían con la salida del Sol en las fiestas de Imbolc y Samonios, aunque la época a la que corresponde este nivel de la necrópolis es previa a la constatación de la celebración de estas festividades por parte de esta cultura. Las del grupo 4 se consideró que tenían relación con el orto solar en el solsticio de verano, el extremo A, y con el ocaso del sol en el solsticio de invierno, el extremo B. Las del grupo 5 están orientadas hacia el orto solar en el solsticio de invierno, el extremo A, y hacia el ocaso del Sol en el solsticio de verano, el extremo B. Las tumbas de los grupos 1, 3 y 6 no parecen tener relación con eventos astronómicos.

## Herrería II

Seguidamente se analizaron las 127 tumbas de la fase de Herrería II, del total de tumbas solamente 4 de ellas -57, 58, 207 y 222- corresponde a un rito de inhumación y están especialmente señaladas por estructuras de piedra de forma ovalada. De estas 4 tumbas, se destacan dos de ellas que se encuentran muy cercanas 207 y 222.

Se trata de dos tumbas tumulares con zonas de empedrado y, en particular, la número 222 posee una estela que marca el conjunto y la hace llamativa sobre el resto de enterramientos. Ello hizo pensar que se trataba de un enterramiento de un personaje perteneciente a una élite social. Este supuesto motivó la medición del acimut del resto de las tumbas con respecto a la tumba 222, así como los acimuts de los eventos astronómicos calculados en la fase Herrería I. La planimetría completa

puede verse en la figura 4.15 y la orientación de las tumbas respecto a la número 222 juntos con las posiciones solares y lunares anteriormente citadas en la figura 4.16.

También se advirtió la existencia de 3 inhumaciones las correspondientes a los números 222, 57 y 58 junto con la tumba 114, que estaba en ese momento en fase de excavación formaban una figura geométrica casi completamente regular, con orientación astronómica. Esta orientación se corresponde mayormente con las líneas que forman las tumbas 222-57 y 58-114, siendo líneas prácticamente paralelas entre sí. La figura que conforman estas tumbas puede verse superpuesta en la figura 4.15, astronómicamente dos de los lados -22-57 y 58-114- señalan direcciones paralelas a la dirección Este-Oeste mientras que la diagonal señala hacia el ocaso del Sol en el solsticio de invierno. Esta figura geométrica se interpretó como un lugar con sentido simbólico, probablemente cosmológico debido a la orientación astronómica y que sería utilizado por familias con alto rango social, mientras que el resto de tumbas serían utilizadas por el resto de la población y no se observó relación alguna con eventos astronómicos.

### Herrería III

Desde un primer momento al ver la planimetría (figura 4.11) de la fase de utilización de la necrópolis de Herrería, Herrería III, se apreció una aparente división en dos diferentes grupos con una zona de separación entre ambos grupos. Para demostrar la clara, sobre la planimetría, disposición de las tumbas en dos grupos -grupo I y grupo II- se separaron ambos grupos (figura 4.17) y se procedió a un ajuste por mínimos cuadrados resultando sendas rectas de regresión. Por otro lado, se calcularon los acimuts del orto y ocaso solares en los solsticios de verano e invierno y el orto y ocaso lunares en su parada mayor en el solsticio de invierno. Los parámetros de dichas rectas pueden verse en la tabla 4.3 y en la imagen 4.18 pueden verse representadas las rectas de regresión sobre la planimetría de las tumbas. Tanto en la tabla como en la imagen puede comprobarse que son dos rectas prácticamente paralelas.

Los valores de referencia fueron  $40^{\circ}53'$  para la latitud, valor medido mediante un receptor GPS dentro del recinto de la necrópolis y un valor para la eclíptica de  $23^{\circ}45'$ , siendo el año de referencia el 500 a.C.

Observando los valores de la tabla 4.2 parece claro que las tumbas se encuentran orientadas a la parada mayor lunar, este fenómeno astronómico ocurre cuando la salida de la luna llena siguiente al solsticio de verano alcanza su posición más

extrema (meridional o septentrional) en la esfera celeste. Se denomina también lunasticio y ocurre con un período de 18.6 años. También es importante señalar que es el momento en el que la Luna se encuentra el mayor tiempo posible visible sobre el horizonte.

| Evento | Acimut | Declinación |
|--------|--------|-------------|
| WSSR   | 122°   | —           |
| WSSS   | 237°   | —           |
| SSSR   | 58°    | —           |
| SSSS   | 301°   | —           |
| LMSR   | 50°.5  | 28°.7       |
| LMSS   | 309°.5 | 28°.7       |

**Tabla 4.2:** Valores de los acimuts y declinaciones para los eventos astronómicos estudiados en la fase Herrería III.

Resumiendo los resultados de las tres fases de ocupación de la necrópolis de Herrería podemos ver diferencias desde el punto de vista astronómico. En la primera fase de Herrería I, se aprecia una orientación solar en particular las tumbas de tipo 2 coinciden con la salida del sol en las fiestas celtas de febrero y noviembre. Las tumbas de tipo 4 y 5 se orientan hacia posiciones solares en eventos solsticiales.

| Grupo    | Pendiente | Inclinación | Acimut | Declinación |
|----------|-----------|-------------|--------|-------------|
| Grupo I  | 0.7816    | 38°.01      | 51°.99 | 27°.07      |
| Grupo II | 0.7988    | 38°.62      | 51°.38 | 28°.16      |

**Tabla 4.3:** Parámetros de las rectas de regresión

En el caso de la fase Herrería II lo más relevante es el hallazgo de cuatro inhumaciones relevantes que conforman un paralelepípedo que, por la importancia de las tumbas ubicadas en el, parece ser una zona reservada a las élites sociales, dos de sus lados (formadas por las líneas 22-57 y 58-114) son paralelos al eje Este-Oeste y la línea diagonal, formada por la línea 222-58 marca el ocaso del Sol en el Solsticio de invierno. El resto de las tumbas no tienen una orientación astronómica clara aunque aparece una cierta concentración de inhumaciones en el sector circular limitado por

las direcciones tumba 222-ocaso del Sol en el solsticio de verano y tumba 222-ocaso del sol en el solsticio de invierno. Esta concentración se orienta, respecto de la tumba 222, en la parte del horizonte que se encuentra entre las dos posiciones extremas del ocaso del Sol a lo largo del año solar.

En la fase Herrería III, las orientaciones son de carácter lunar al contrario de las dos fases anteriores que fueron solares. Si comparamos las tablas 4.3 y 4.2 se puede observar la correspondencia de la declinación de las direcciones que forman las rectas de ajuste de ambos grupos con la declinación de la parada mayor lunar. Sin duda, estos resultados apoyan la conocida relación que poseían los pueblos celtibéricos con el astro lunar, y en la que ahondaremos más adelante. También es conocida la relación existente entre el mundo de los muertos y el paso de una corriente de agua -no olvidemos que el castro y la necrópolis se encuentran separados por el cauce del río Gallo-. Las aguas poseen también un significado religioso que en muchas culturas antiguas implica tantos los conceptos de muerte como el de resurrección en el otro mundo. Dando lugar a un concepto cíclico de tiempo asemejando el ciclo diario soli-lunar de luz y oscuridad con el ciclo vital humano. Por lo tanto, la elección de la disposición espacial del castro (ciudad de los vivos) y la necrópolis (ciudad de los muertos) asentada en una terraza fluvial separadas por el río Gallo es claramente intencionada y responde a este patrón temporal cíclico que impregnó todas los aspectos de la sociedad celta.

#### **4.1.2. Otras necrópolis celtibéricas**

Tras los interesantes resultados que proporcionó la necrópolis de Herrería nos dispusimos a ampliar el estudio a una mayor cantidad de necrópolis celtibéricas, al menos algunas de las más representativas, con el fin de confirmar si se repetía el patrón que aparecía en ella. Para ello se comenzó a realizar una búsqueda del conjunto de las necrópolis celtibéricas que se conocen hasta el momento, usando como referencia la relación que aparece en el anexo del artículo Cerdeño y García (2001).

Las necrópolis tomadas en consideración para el estudio fueron elegidas por su importancia en la bibliografía, siendo muchas de ellas ya clásicas entre las necrópolis celtibéricas, y por su importancia cultural e interpretativa dentro del mundo celtibérico. Entre las elegidas aparecen sitios arqueológicos descubiertos y/o excavados en la primera mitad del siglo XX, en su gran mayoría descubiertas por Enri-

que de Aguilera y Gamboa, XVII marqués de Cerralbo. Aunque en este trabajo se citan la práctica totalidad de yacimientos del Alto Tajo y Jalón en muchas ocasiones los datos correspondientes a los diferentes sitios se encuentran inéditos y solo se conserva material disperso entre varios museos fuera de contexto y, a menudo, de dudosa procedencia. La información que podemos obtener de los datos sobre la forma y ordenación interna de los cementerios, el número de tumbas, etcétera no se corresponden con datos topográficos o de carácter espacial de los recintos necropolíticos. Por poner un ejemplo, en numerosas ocasiones no aparecen ni tan siquiera las coordenadas donde estuvo el recinto, de mayor gravedad si pensamos en la imposibilidad actual -la mayoría fueron destruidos al realizar su excavación o por trabajos agrícolas- de plantearnos nuevas mediciones sobre el terreno con el fin de realizar trabajos más precisos que tengan en cuenta un punto de vista espacial.

| Necrópolis excavadas en la 1ª mitad del siglo XX | Posteriores           |
|--|-----------------------|
| Aguilar de Anguita                               | Carratiermes          |
| Attillo de Cerropozo                             | Cerrada de los Santos |
| Almaluez   | Checa                 |
| Alpanseque                                       | Herrería              |
| Carabias   | Molina                |
| Clares   | Numancia              |
| El Atance  | Riba de Saelices      |
| Garbajosa  | Sigüenza              |
| Gormaz   | Ucero                 |
| Hijes  |                       |
| La Mercadera                                     |                       |
| La Revilla                                       |                       |
| Luzaga   |                       |
| Monteagudo de las Vicarias                       |                       |
| Osma   |                       |
| Vado de la Lámpara                               |                       |
| Valdenovillos                                    |                       |

**Tabla 4.4:** *Relación de necrópolis estudiadas en esta tesis según su época de descubrimiento y excavación*

Esta falta de datos espaciales podría ser consecuencia de la antigüedad de los estudios, que son resultado de una metodología diferente a la que se emplea en la actualidad. Sin embargo no parece ser el caso si atendemos a la serie de necrópolis que fueron descubiertas o excavadas con posterioridad a las descubiertas y/o excavadas en la primera mitad del siglo XX (ver tabla 4.4). Si bien el número es menor, es suficientemente significativo para hacernos una idea clara de que los defectos son los mismos que en los estudios más antiguos, cometiendo los mismo errores metodológicos en la caracterización espacial de los yacimientos. Es obvio que los nuevos métodos de documentación espacial no estuvieron disponibles hasta fechas recientes, sin embargo los métodos topográficos son lo suficientemente antiguos y exactos para que hubieran sido usados con asiduidad en la ciencia arqueológica desde fechas pretéritas.

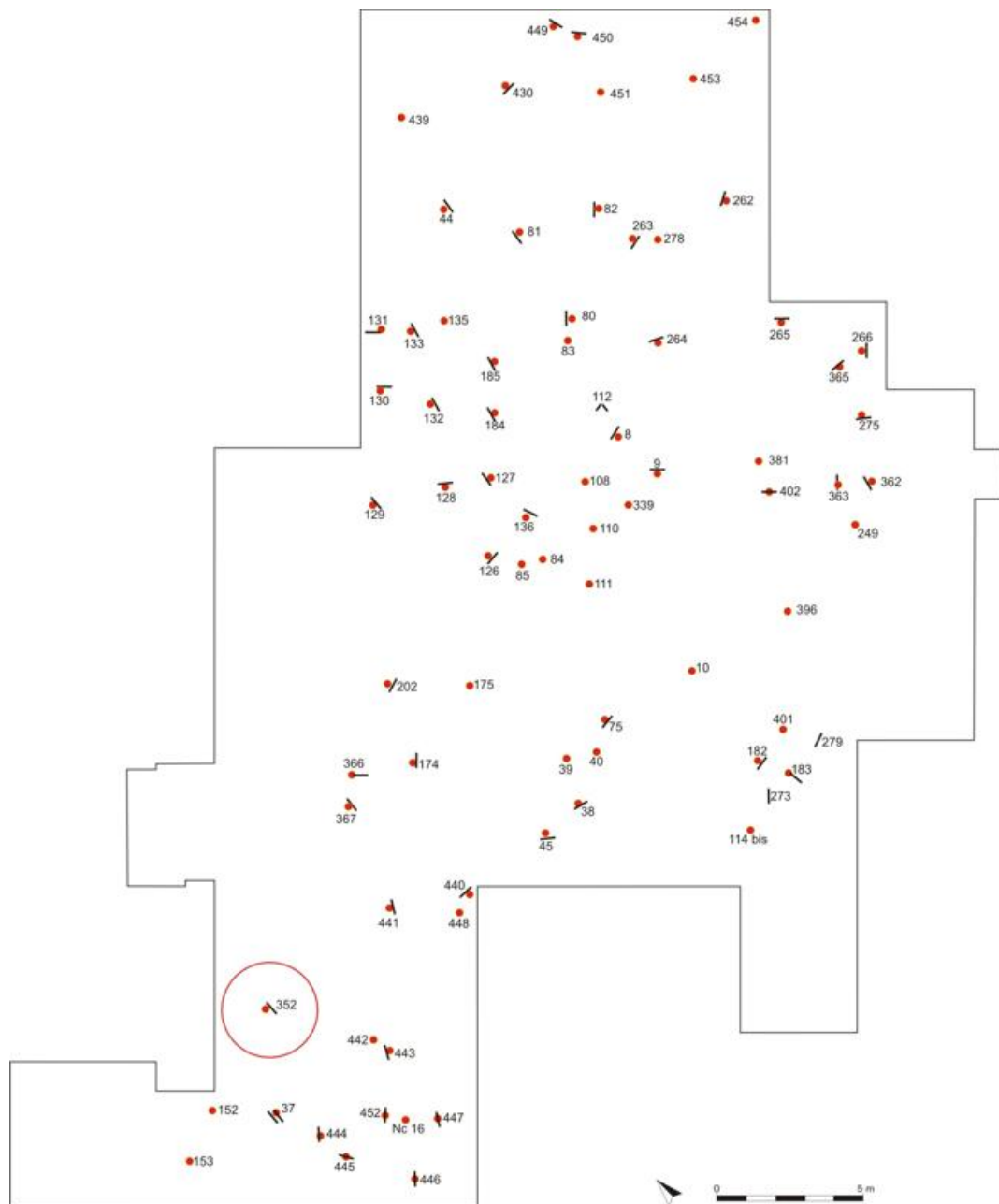
En algunos casos sí existen datos y estudios de concentración espacial de materiales pero adolecen de la necesaria relación espacial entre las tumbas que nos permita realizar un estudio espacial con las mínimas garantías. A continuación describimos brevemente, y una por una, las necrópolis que hemos revisado (ver figura 4.29) para intentar realizar su estudio.

#### PROVINCIA DE GUADALAJARA

- AGUILAR DE ANGUITA (Aguilera y Gamboa (Obra inédita), Aguilera y Gamboa (1916)). Los datos más concretos proceden de los trabajos que realizó Argente, que la sitúa en las coordenadas 41° 03' 50" de latitud Norte y 2° 24' 51" de longitud Oeste (Argente Oliver, 1977). La necrópolis de "El Altillo" de Aguilar de Anguita fue excavada por primera vez por el marqués de Cerralbo entre los años 1910 y 1912, y posteriormente por Argente en el año 1973. Se trata de una de las necrópolis que se conocen desde hace más tiempo y también una de las más importantes por los materiales que se recuperaron y el gran número de tumbas que, según el propio marqués de Cerralbo, superaban las 3.400, dispuestas en calles y la mayoría marcadas por estelas. No poseemos material topográfico detallado de la disposición de los enterramientos, solamente de la ubicación de la necrópolis respecto a la población de Aguilar de Anguita (figura 4.19). Por lo tanto, no se ha podido incluir esta necrópolis en el estudio.
- ALTILLO DEL CERROPOZO (ATIENZA) (Cabré, 1930). Necrópolis excavada por Juan Cabré Aguiló en el año 1929, situada en las inmediaciones de la actual

ermita de Santa Lucía ( $41^{\circ} 10' 45.60''$  latitud Norte,  $2^{\circ} 53' 48.29''$  longitud Oeste). Los estudios de la zona comenzaron a partir de 1926, coincidiendo con las obras de la carretera de Atienza a Hiendelaencina. Se descubrieron algunos enterramientos, pero se cancelaron los trabajos por motivos económicos. De nuevo solo nos ha llegado la ubicación de la necrópolis respecto a la población más cercana de Atienza (figura 4.20), nada detallado de la ubicación relativa de las tumbas dentro del recinto de la necrópolis. De nuevo ello motiva su no inclusión en el estudio.





**Figura 4.7:** Planimetría de los enterramientos de Herrería I





**Figura 4.9:** *Ejemplos de enterramientos de Herrería II*



**Figura 4.10:** *Musealización de un enterramiento de la fase Herrería III*

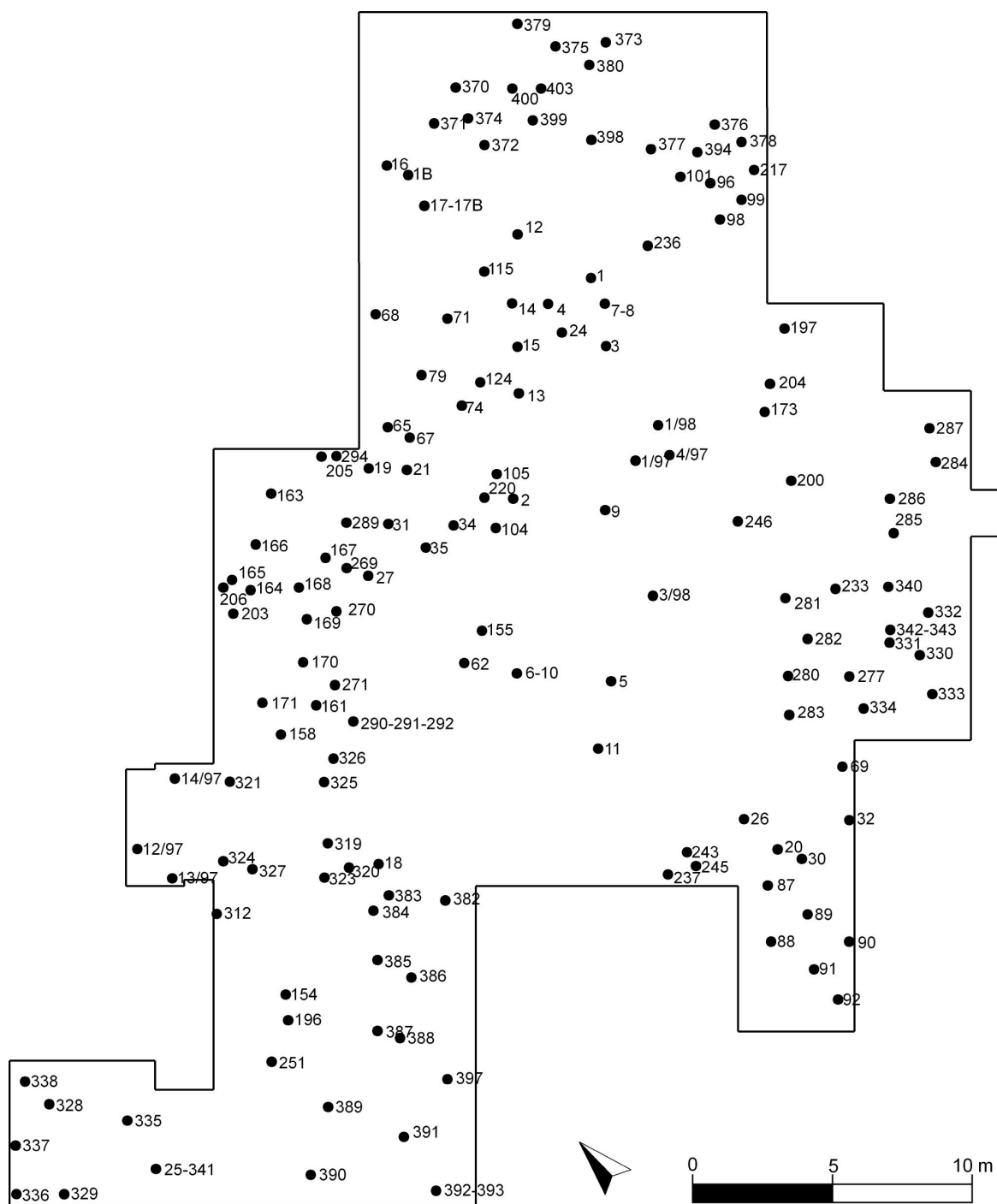


Figura 4.11: Planimetría de los enterramientos de Herrera III

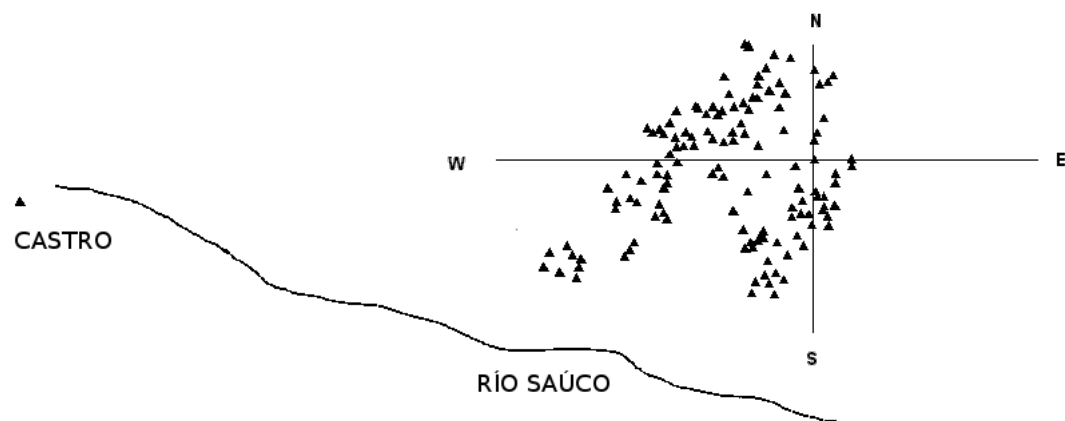
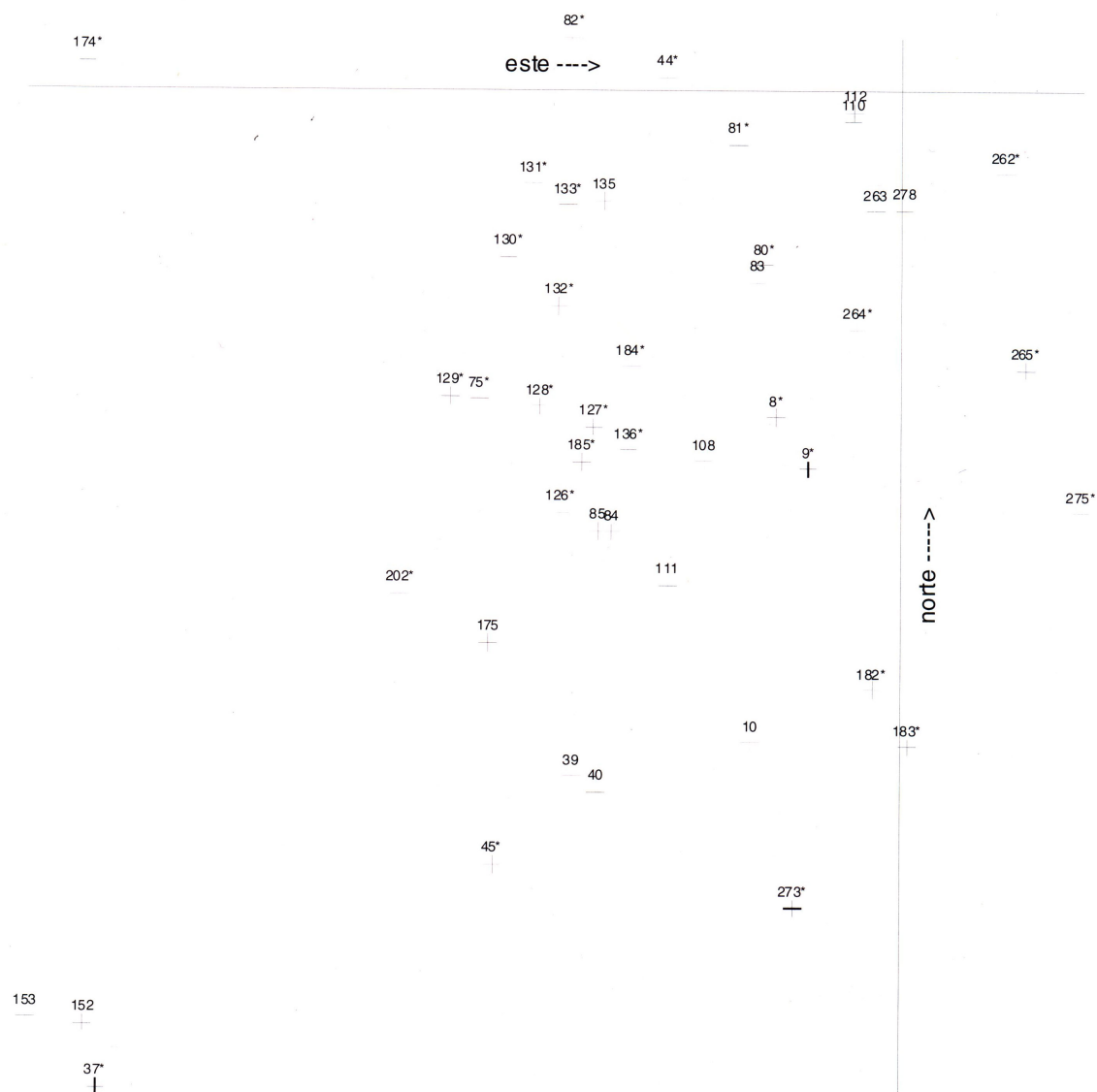


Figura 4.12: Posición de las tumbas de la necrópolis respecto del río Saúco.

| SOL  | SOLSTICIO DE VERANO |       |              |       | SOLSTICIO DE INVIERNO |       |              |       |
|------|---------------------|-------|--------------|-------|-----------------------|-------|--------------|-------|
|      | ORTO                |       | OCASO        |       | ORTO                  |       | OCASO        |       |
|      | 56°                 |       | 303°         |       | 123°                  |       | 236°         |       |
| LUNA | PARADA MAYOR        |       | PARADA MENOR |       | PARADA MAYOR          |       | PARADA MENOR |       |
|      | ORTO                | OCASO | ORTO         | OCASO | ORTO                  | OCASO | ORTO         | OCASO |
|      | 131°                | 229°  | 116°         | 244°  | 48°                   | 312°  | 63°          | 297°  |

|            | ORTO     |           | OCASO    |           |
|------------|----------|-----------|----------|-----------|
|            | 800 a.C. | 1200 a.C. | 800 a.C. | 1200 a.C. |
| Imbolc     | 117° 4'  | 117° 45'  | 242° 55' | 242° 14'  |
| Beltaine   | 73° 4'   | 74° 36'   | 286° 55' | 285° 23'  |
| Lughnasadh | 61° 25'  | 60° 27'   | 298° 34' | 299° 32'  |
| Samonios   | 106° 37' | 105° 12'  | 253° 22' | 254° 47'  |

Figura 4.13: Relación de acimuts de los diferentes eventos astronómicos de interés y de las principales fiestas (Cerdeño y otros, 2004).



**Figura 4.14:** Planimetría de las tumbas de Herrería I respecto a los puntos cardinales

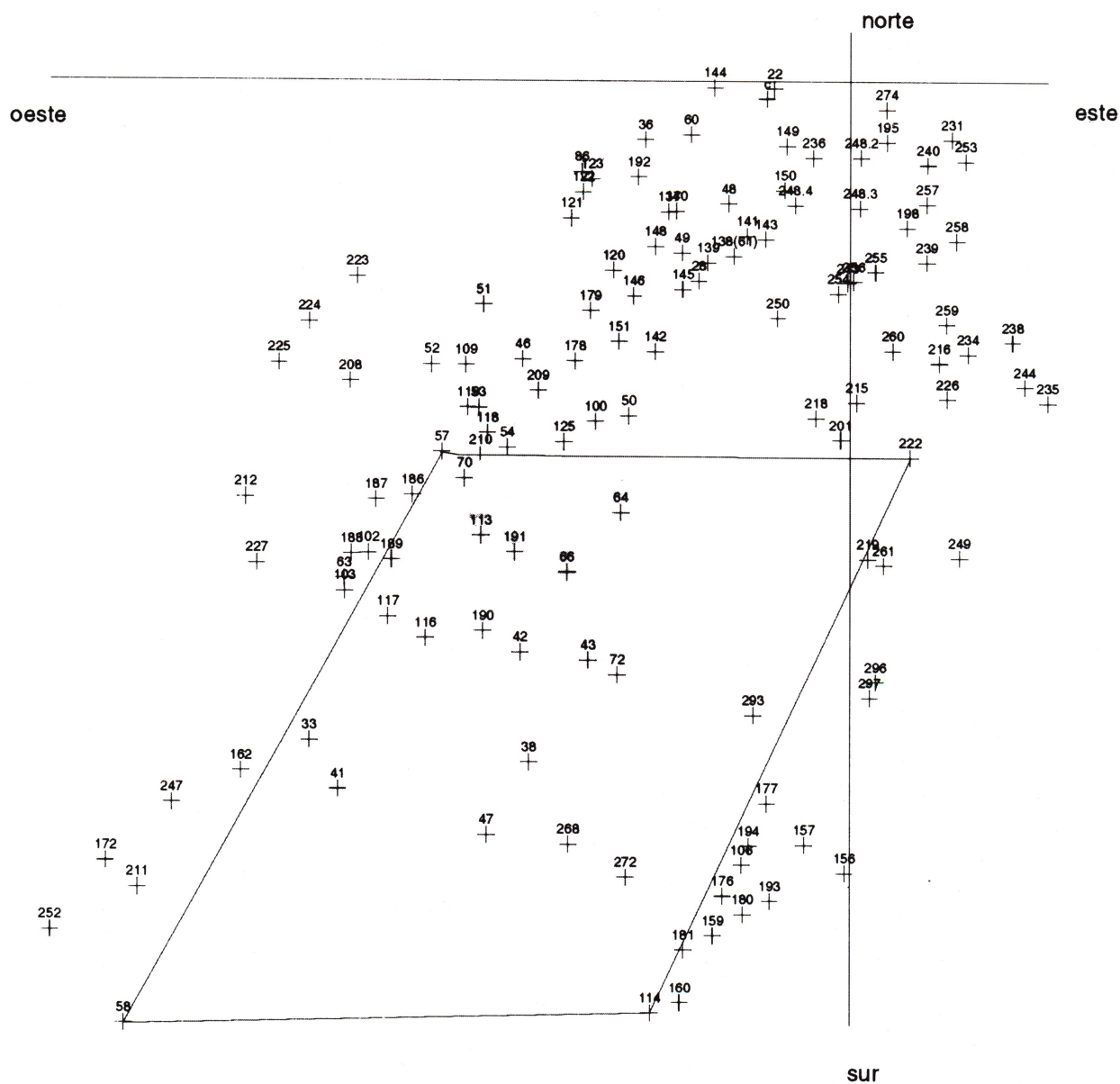
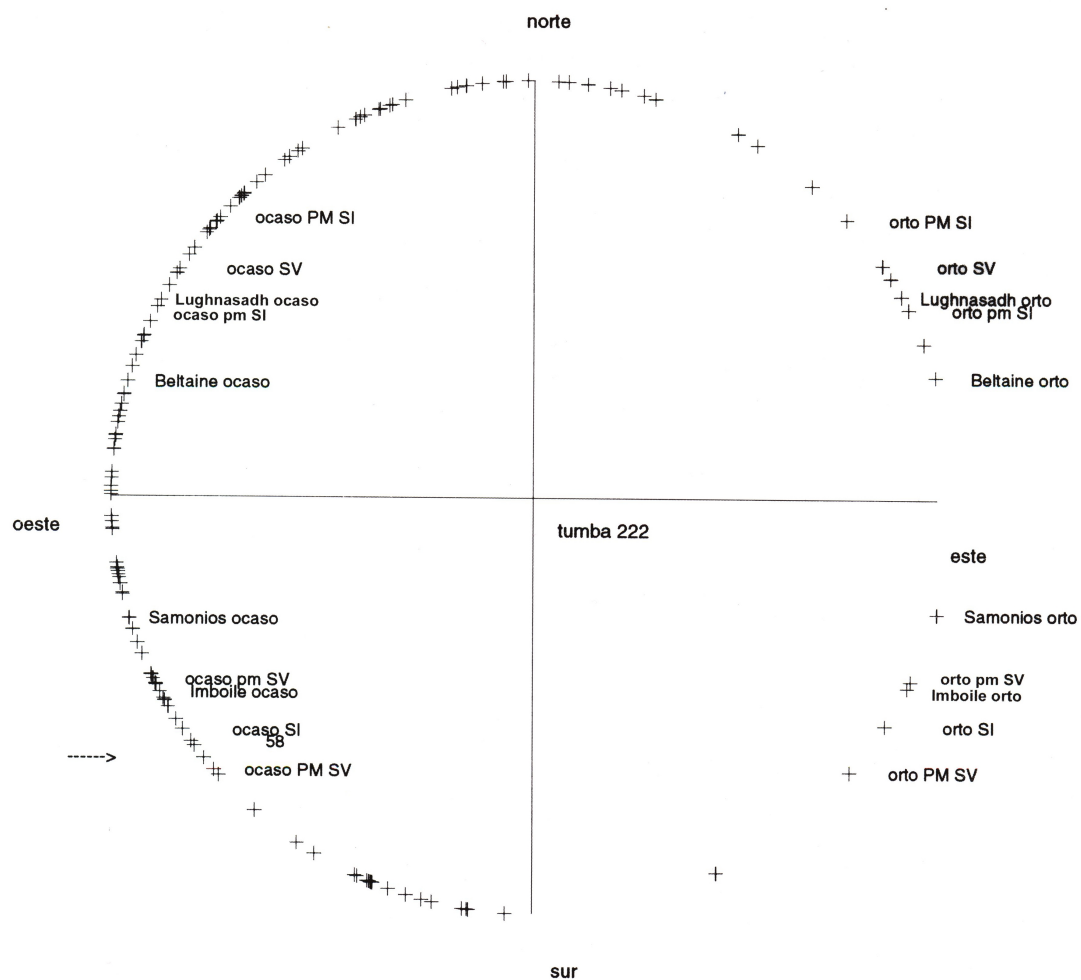


Figura 4.15: Planimetría de las tumbas de Herrería II respecto a los puntos cardinales



**Figura 4.16:** Orientación de las tumbas de Herrería II respecto a la tumba 222. También aparecen algunas posiciones astronómicamente relevantes



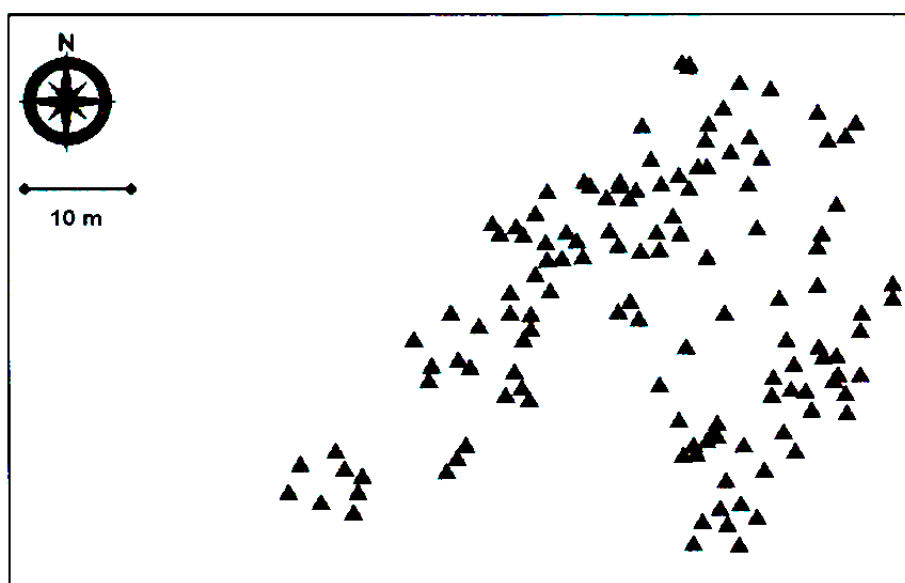


Figura 4.17: Planimetría en coordenadas relativas (X,Y) de la fase de ocupación Herrería III

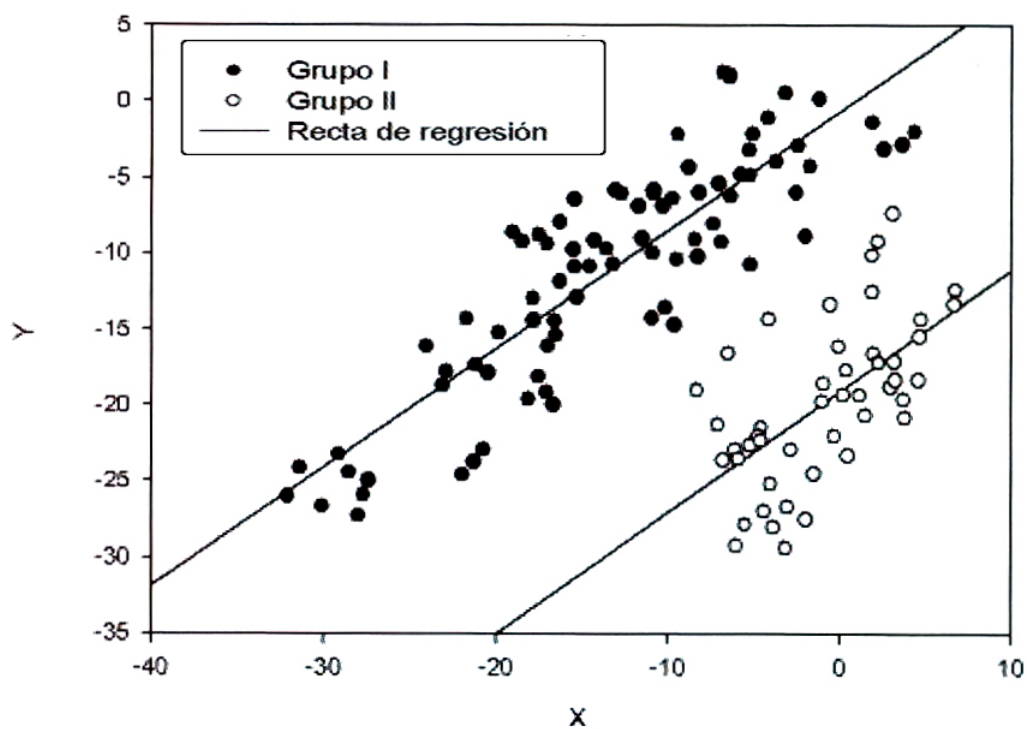


Figura 4.18: Grupos I y II de la fase Herrería III sobre la planimetría y sus rectas de ajuste

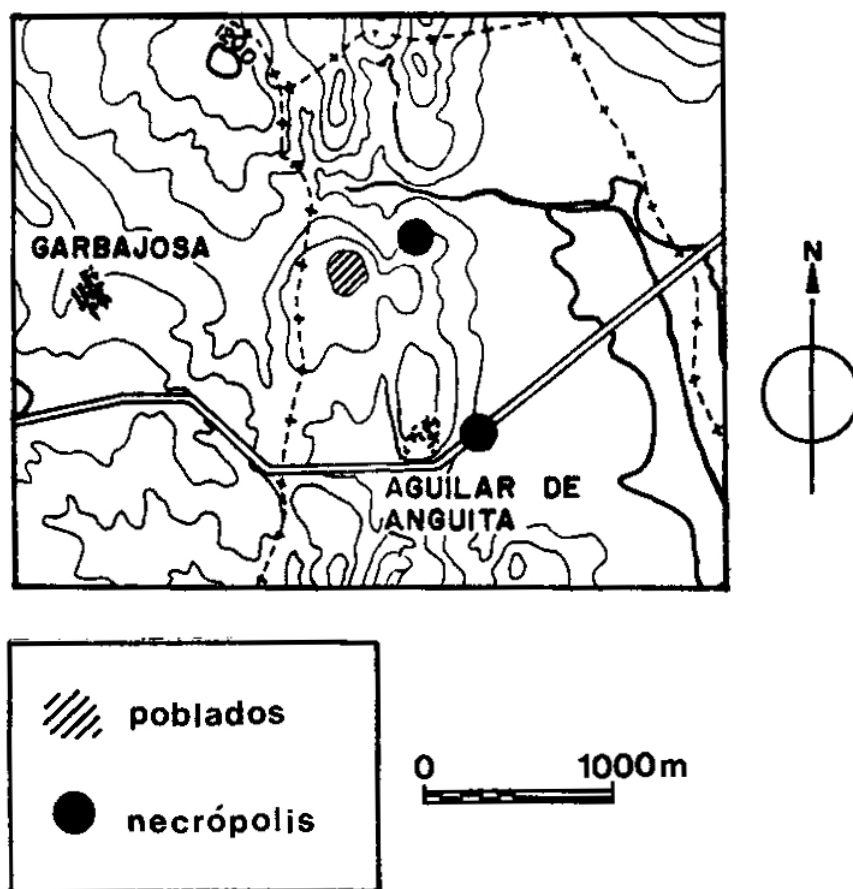


Figura 4.19: Mapa de situación de la necrópolis de Anguilar de Anguita

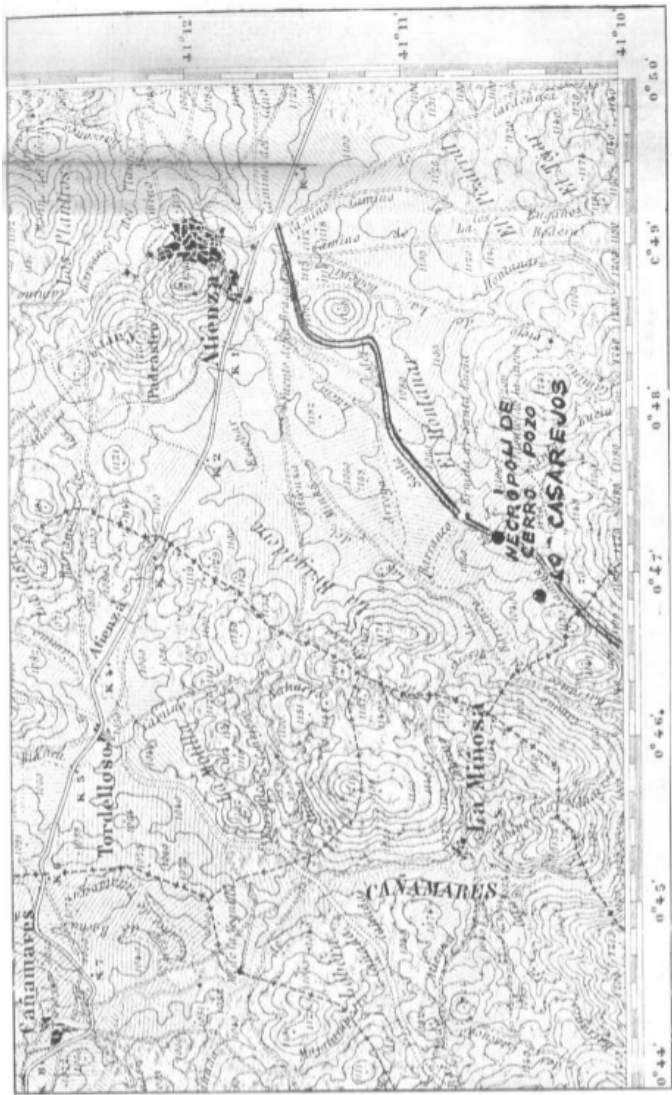


Figura 4.20: Mapa de situación de la necrópolis de Cerropozo (Cabré, 1930).

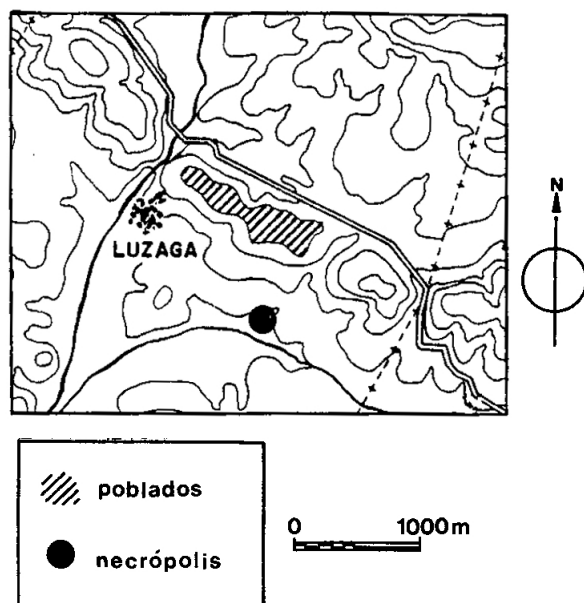
- CARABIAS (Aguilera y Gamboa (1916), Requejo (1978)). Excavada por el Marqués de Cerralbo (Cabré, 1930) o el párroco de Membrillera Justo Juberías Pérez (Requejo, 1978), que fue delegado-director de numerosas excavaciones en las diócesis de Sigüenza y parte de la de Segovia, actualmente se encuentre totalmente destruida y desgraciadamente no se encuentra disponible ningún mapa o planimetría de la necrópolis en la bibliografía, lo que la excluye del estudio.
- CLARES (Aguilera y Gamboa, 1916). El Marqués de Cerralbo, en el año 1914, excavó varios enterramientos de incineración de los cuales consiguió piezas de gran relevancia entre las que destacaremos el collar de la sacerdotisa del Sol (figura 4.1), de posible carácter astronómico y sobre el que hemos hablado brevemente a principio del capítulo. Dada la relevancia astronómica que puede tener esta pieza y su unicidad (aparecen cuentas de barro en otros yacimientos pero no cisnes) en el mundo funerario celtibérico hace que sea aún más lamentable que no se disponga de planimetrías de la necrópolis y no se pueda incluir en el estudio. Este caso nos permitiría establecer una relación directa entre el conocimiento astronómico de la cultura celtibérica y su plasmación en el mundo funerario atendiendo a la distribución de los enterramientos.
- EL ATANCE (ATANCE) (Aguilera y Gamboa (1916), Paz Escribano (1980)). La necrópolis de "Las Horazos" de El Atance se ubica en las coordenadas 41° 5' 14" de latitud Norte y 2° 46' 12" de longitud Oeste. Aunque la memoria de la excavación nunca fue publicada se atribuye su descubrimiento y posterior excavación al Marqués de Cerralbo en el año 1915 (Aguilera y Gamboa, 1916). Lamentablemente gran parte de los materiales no se estudiaron hasta el año 1979 o aún en años posteriores. Del mismo modo tampoco tenemos material gráfico de la disposición de las tumbas disponible.
- GARBAJOSA (Aguilera y Gamboa, Obra inédita). Necrópolis de "Los Majanos", excavada por Cerralbo en torno al año 1911 y citada en su obra inédita *Páginas de la Historia patria por mis excavaciones arqueológicas*. Es otro ejemplo de necrópolis que no podemos incluir en el estudio ya que no disponemos de información sobre la disposición de las tumbas en el recinto necropolitano.
- HIJES. La necrópolis de "Los Arroyuelos" fue excavada en el año 1912 por el Marqués de Cerralbo (Aguilera y Gamboa, 1916) aunque había sido descubierta en el año 1844 con motivo de las respuestas al cuestionario remitido a la

Comisión de Monumentos de la Provincia de Guadalajara. El texto original es el siguiente:

*"...en el termino de esta villa y sitio de los arroyos, distante por la parte del medio día como medio cuarto de legua y muy próximo a la dehesa voyal, se han descubierto en varias épocas unas vasijas de barro rojo, y algunas como negro, de forma redonda al modo de fiambreras o sopero que se cubren con sus tapitas del mismo barro, tienen distintas dimensiones y todas tienen cenizas, tierra, huesos con algunos carbones, por lo que se infiere son cenizas o enterramientos que en aquellos tiempos hacían en otra forma, se encuentran detrás como a la hondura de dos varas, una vasija o lo mas tres juntas, puestas al frente de una piedra larga de mas de cinco cuartas hincada, mirando al sol de medio día, y con alguna lineación; en algunas se ha encontrado una especie de pica o alabarda antigua fuera de las vasijas y muy tornadas y desgastadas sin duda del río; dentro de las vasijas con frecuencia y en las mas, unos alambritos retorcidos formando como ramilletes que los mas se desacen. Cuando con mas particularidad se observó esta escabación fue el año de 1840, que la presencié además de este Ayuntamiento y Juez de 1ª Instancia del Partido de Atienza que lo era el Señor de Don Antonio Maria Cisneros y Lamuza, asistido también de este Sr. Cura economo que firma; otras barias personas de la Villa de Atienza y Miedes y de todo se dio parte al Gobierno Político de la Provincia. Siguiéndose sobre este particular; correspondencia epistolar con el mismo, remitiéndole cuatro vasijas de las estraidas en la escabacion y cerrándose en ella por su orden."*[sic] (Gómez-Pantoja y Lopez Trujillo, 1996)

A pesar de lo detallado de la noticia de su descubrimiento tampoco disponemos en este caso de material gráfico que nos aporte información espacial de la necrópolis y no puede ser incluido en el estudio.

- LUZAGA (Aguilera y Gamboa (1916), Díaz Díaz (1976)). Denominada también "Necrópolis de Centenares" fue excavada por el Marqués de Cerralbo en el año 1911 y fueron descubiertas en el recinto necropolitano más de 1800 urnas funerarias. De nuevo solamente disponemos de un mapa general de la zona de ubicación de la necrópolis y no podemos incluir la necrópolis en el estudio.
- MOLINA (CHERA) (Cerdeño y otros, 1981). También llamada de "Prados Redondos", fue hallada durante labores agrícolas y excavada en 1979 por María Luisa Cerdeño, Rosario García Huerta y Mercedes de Paz. Su situación exacta es 40° 46' 2" de latitud Norte y 1° 55' 35" de longitud Oeste. Es interesante al ser una de las necrópolis sobre las que se ha trabajado con metodología moderna,

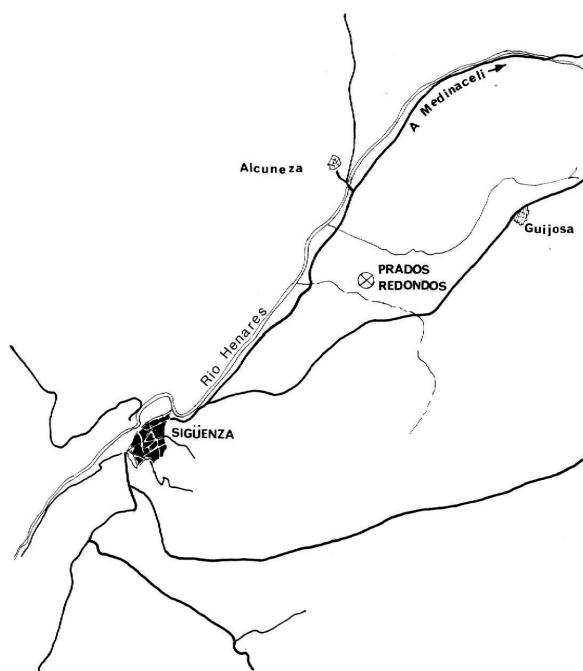


**Figura 4.21:** Mapa de situación de la necrópolis de Luzaga

aunque tampoco se publicaron planimetrías detalladas de todo el yacimiento, lo que impide su inclusión en el estudio.

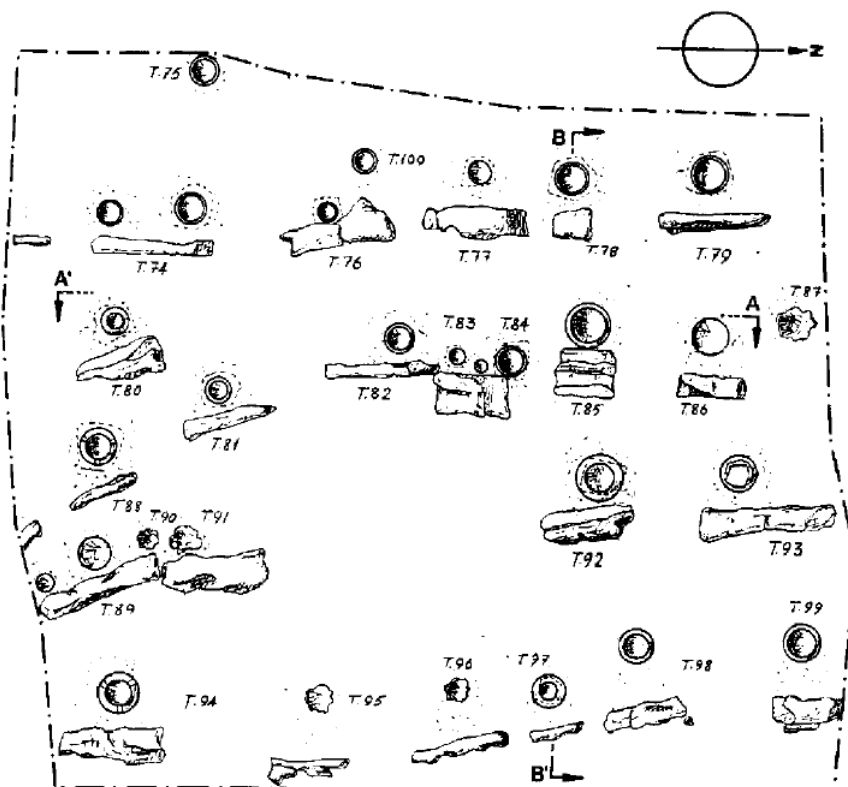


**Figura 4.22:** Fotografía de la zona Sur de la necrópolis de Molina (Cerdeño y otros, 1981).



**Figura 4.23:** Mapa de situación de la necrópolis de Sigüenza (Fernández Galiano, 1976).

- SIGÜENZA (ALCUNEZA) (Fernández Galiano (1976), Cerdeño y Pérez de Ynestrosa (1993)). Las coordenadas de este yacimiento son  $41^{\circ} 5' 20''$  de latitud Norte y  $2^{\circ} 36' 00''$  de longitud Oeste. El lugar fue descubierto en primera instancia por clandestinos lo que motivó la visita del entonces director del museo de Guadalajara Dimas Fernández Galiano en 1974 quien, ese mismo año, realizó una primera excavación recuperando nueve sepulturas intactas. Posteriormente se hizo cargo de las excavaciones la administración de patrimonio correspondiente resultando en otras tres campañas en los años 1976, 1977 y 1978, que aportaron otros doce enterramientos a los datos que ya se tenían. Es otro ejemplo de información general en cuanto a planimetría se refiere, su falta de detalle hace imposible su utilización en el estudio.



**Figura 4.24:** Mapa de la zona 4 de la necrópolis de Riba de Saelices (Cuadrado, 1968).

- RIBA DE SAELICES (Cuadrado, 1968, pp.12,15). Descubierta y excavada en 1964 por Emeterio Cuadrado. Su ubicación exacta tiene unas coordenadas de  $40^{\circ} 55' 47''$  de latitud Norte y  $2^{\circ} 17' 36''$  de longitud Oeste. Existe cierta cantidad de información espacial como aparece en la figura 4.24, sin embargo esta es de zonas muy parciales respecto del total de la necrópolis y se encuentran muy fragmentadas. Imposible su utilización en el estudio.



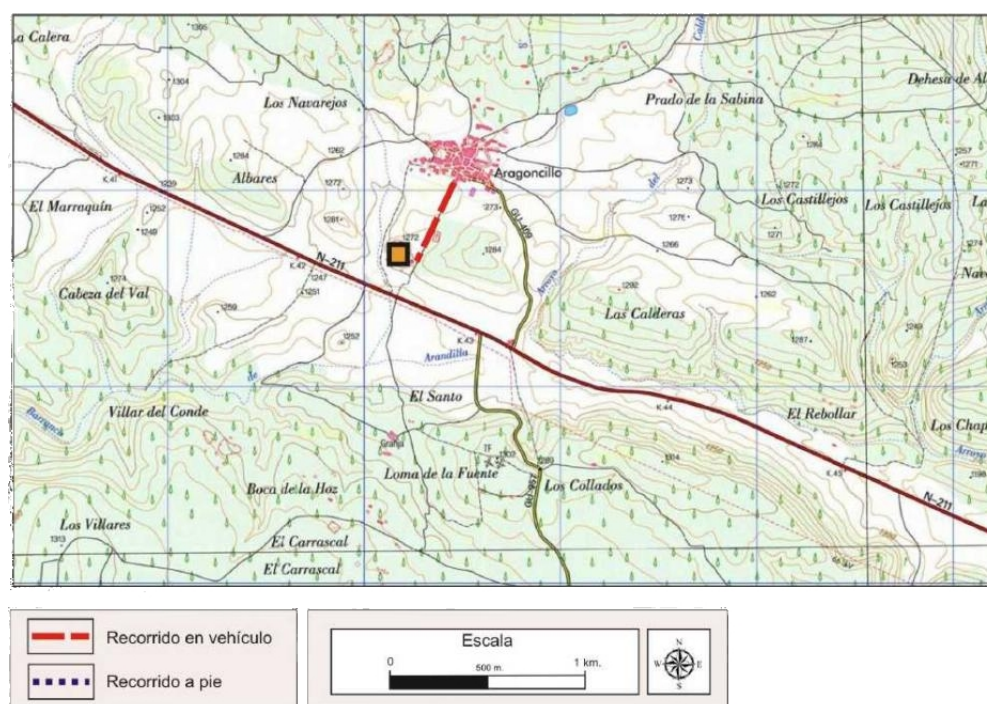
- VALDENOVILLOS (ALCOLEA DE LAS PEÑAS) (Aguilera y Gamboa (1916), Cerdeño (1976)). Situada en las coordenadas 41° 12' 33" de latitud Norte 2° 54' 10" de longitud Oeste, se desconoce tanto su descubridor como su primer excavador, aunque hay referencias a esta necrópolis en trabajos del Marqués de Cerralbo, Bosch Gimpera y Maluquer (Cerdeño, 1976). En este caso tampoco aparece ningún mapa en la obra del marqués de Cerralbo. Las prospecciones de la profesora Cerdeño no fueron satisfactorias y no pudo localizar el lugar exacto de ubicación. Se trata de otro ejemplo de necrópolis que no podemos incluir en el trabajo.
- LA CERRADA DE LOS SANTOS (Arenas (1999a), Arenas (1999b)). Este cementerio celtibérico, vinculado al poblado de El Palomar, fue hallado en 1987 y fue excavado en los inicios de la década de los noventa (1990-1994). Se halla en el fondo de un estrecho valle, al pie del cerro donde se levanta el poblado, a unos 500 metros hacia el sur.

Se excavaron 30 tumbas de incineración, ordenadas en líneas paralelas, correspondientes a las dos fases de uso del cementerio, que son equivalentes a las del poblado de El Palomar:

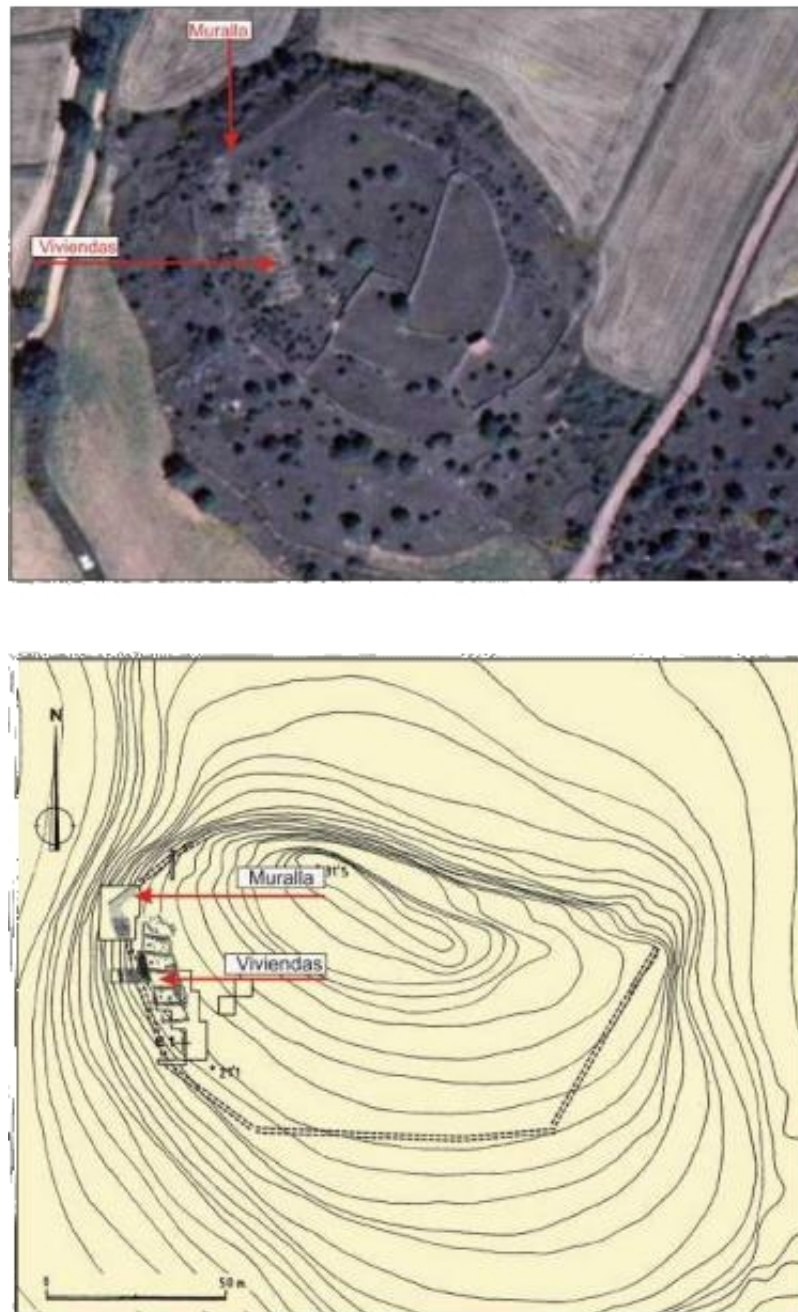
- Fase I (siglos VI-V a.C.) - Enterramientos de las cenizas de la cremación en hoyo, con restos de ajuar. En algunos casos las cenizas aparecían en urnas o vasijas cerámicas.
- Fase II (siglos III-II a.C.) - Las cenizas aparecen en urnas o vasijas cerámicas sin ajuar

Los hallazgos realizados en esta necrópolis han completado el conocimiento sobre el ritual funerario, los cambios en la organización social y el concepto de riqueza de la población del yacimiento El Palomar y la necrópolis asociada de Cerrada de los Santos.

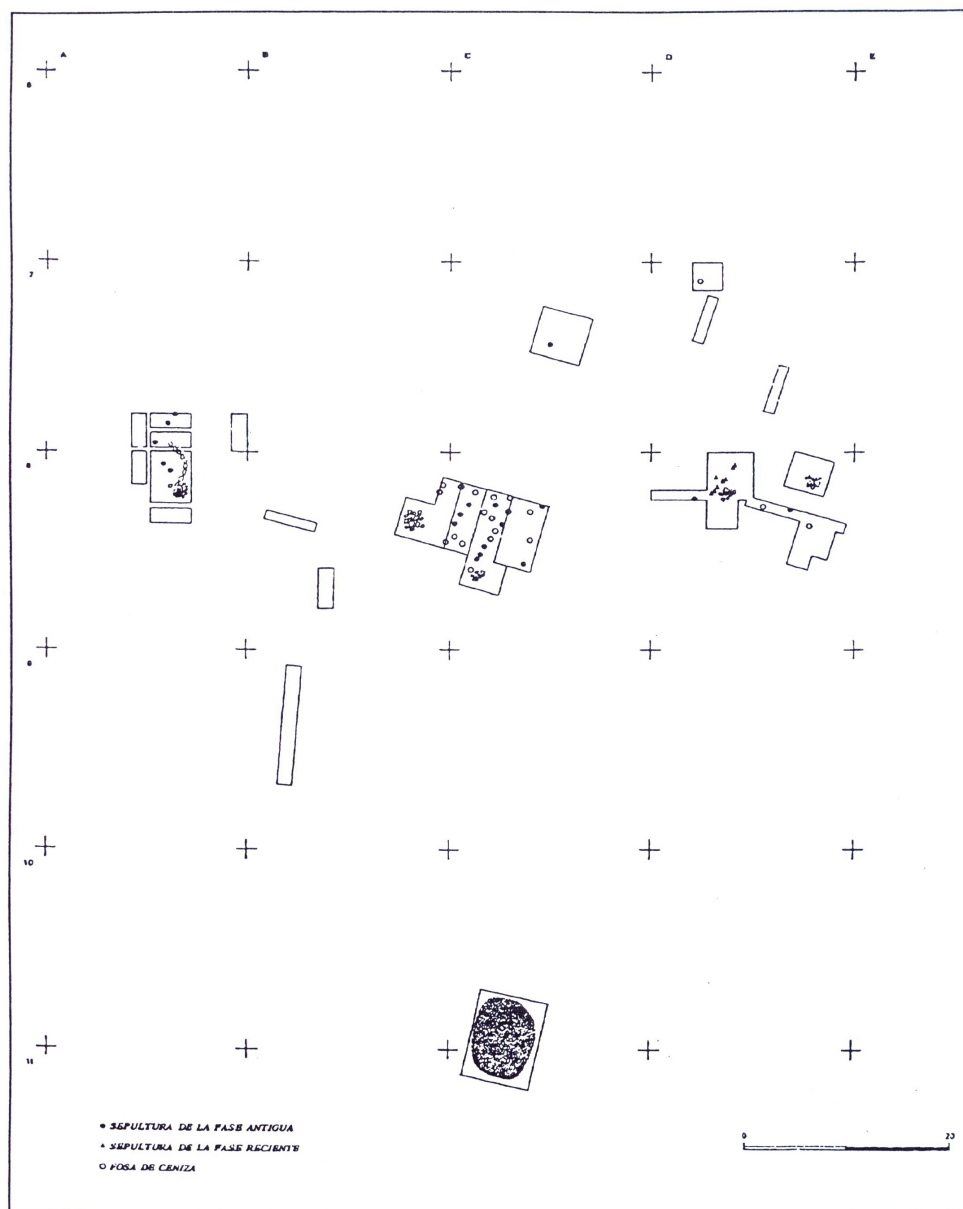
En este caso existe bastante material gráfico sobre las tumbas de la necrópolis, desafortunadamente tienen errores como la inexistencia de la dirección Norte (ver figura 4.27) y las catas que están en planimetría son de secciones muy pequeñas respecto del total del espacio necropolitano (ver figura 4.28).



**Figura 4.25:** Mapa de ubicación de la necrópolis de Cerrada de los Santos



**Figura 4.26:** Mapa del poblado de El Palomar en relación con la necrópolis de Cerrada de los Santos



**Figura 4.27:** Planimetría general de la necrópolis de Cerrada de los Santos (Arenas, 1999b).

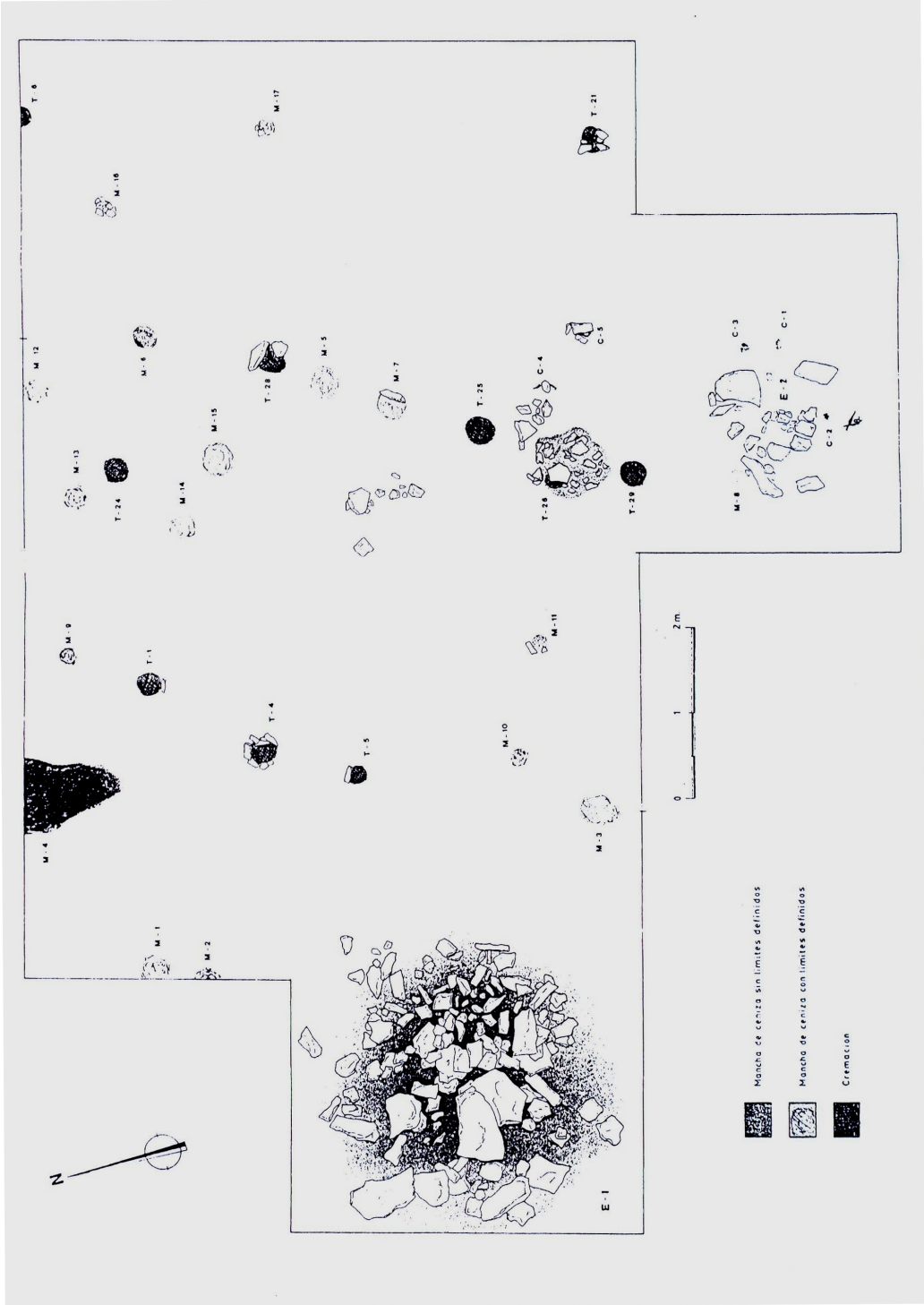
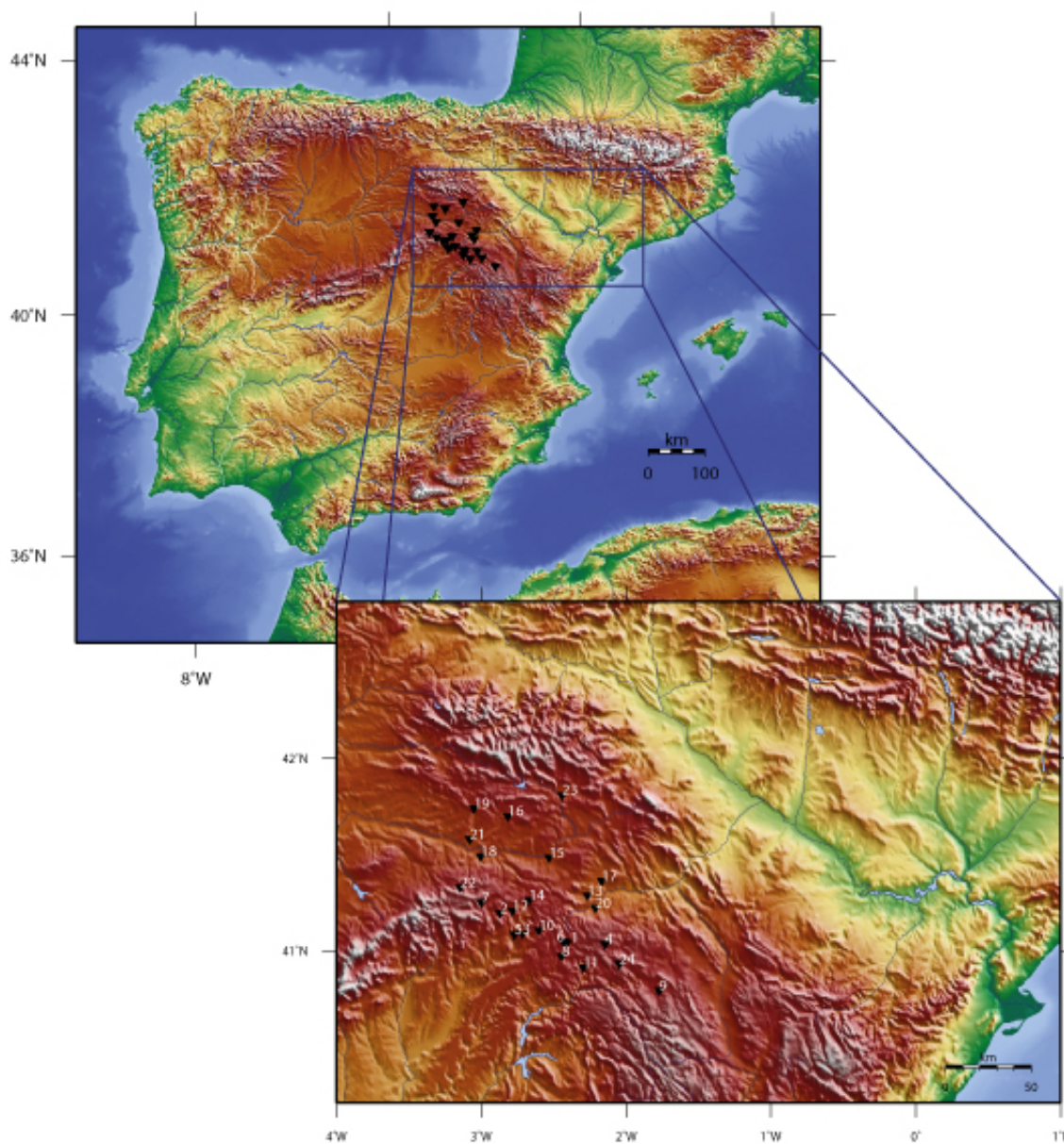


Figura 4.28: Planimetría de las catas B-8, C-8, C-8a y C-8b de la necrópolis de Cerrada de los Santos (Arenas, 1999b).





**Figura 4.29:** Mapa de distribución de las necrópolis celtibéricas revisadas en este trabajo: 1. Aguilar de Anguita, 2. Altillo del Cerropozo (Atienza), 3. Carabias, 4. Clares, 5. El Atance (Atance), 6. Garbajosa, 7. Hijes, 8. Luzaga, 9. Molina (Chera), 10. Prados redondos (Sigüenza, Alcuneza), 11. Riba de Saelices, 12. Valdenovillos (Alcolea de las Peñas), 13. Almaluez, 14. Alpanseque, 15. La Mercadera, 16. La Revilla (Calatañazor), 17. Monteagudo de las Vicarias, 18. Requijada (Gormaz), 19. Ucero, 20. Vado de la Lámpara (Montuenga), 21. Viñas de Portuguí (Osma), 22. Carratiermes, 23. Numancia, 24. Cerrada de los Santos.

## PROVINCIA DE SORIA

- **ALMALUEZ** (Domínguez (1982), Taracena (1941)). Aparece en la *Carta Arqueológica de Soria* de Blas Taracena, quien fue el primer excavador de esta necrópolis entre 1933 y 1934. No existen planimetrías de esta necrópolis.

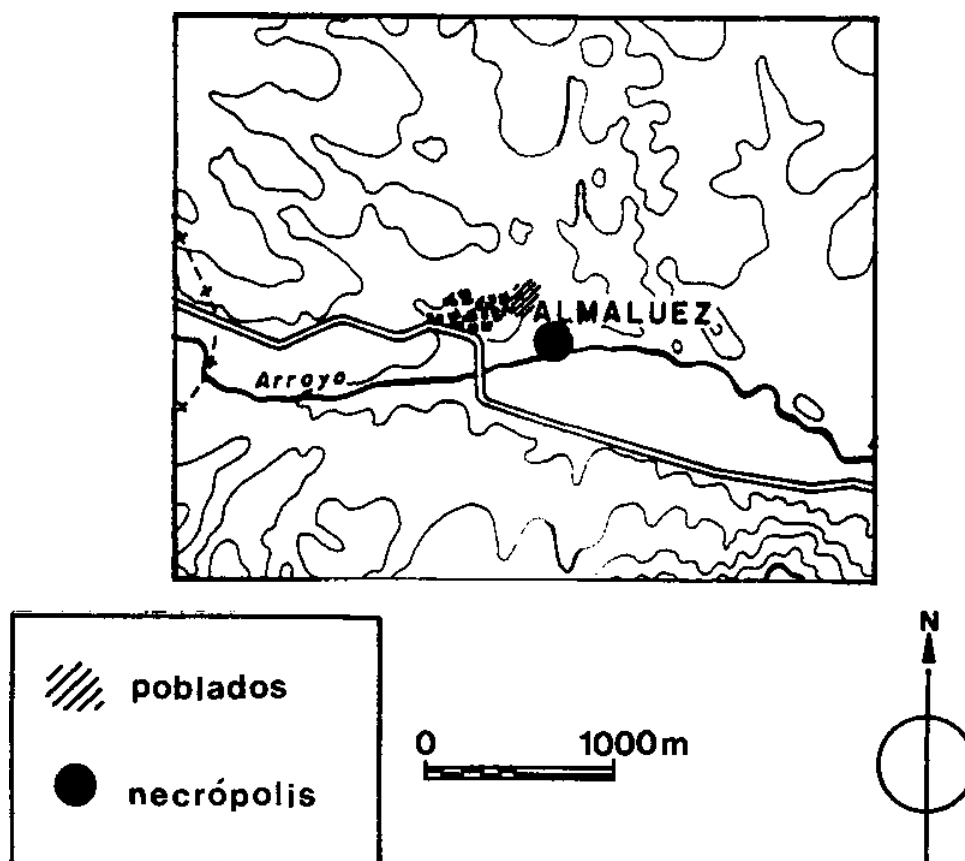
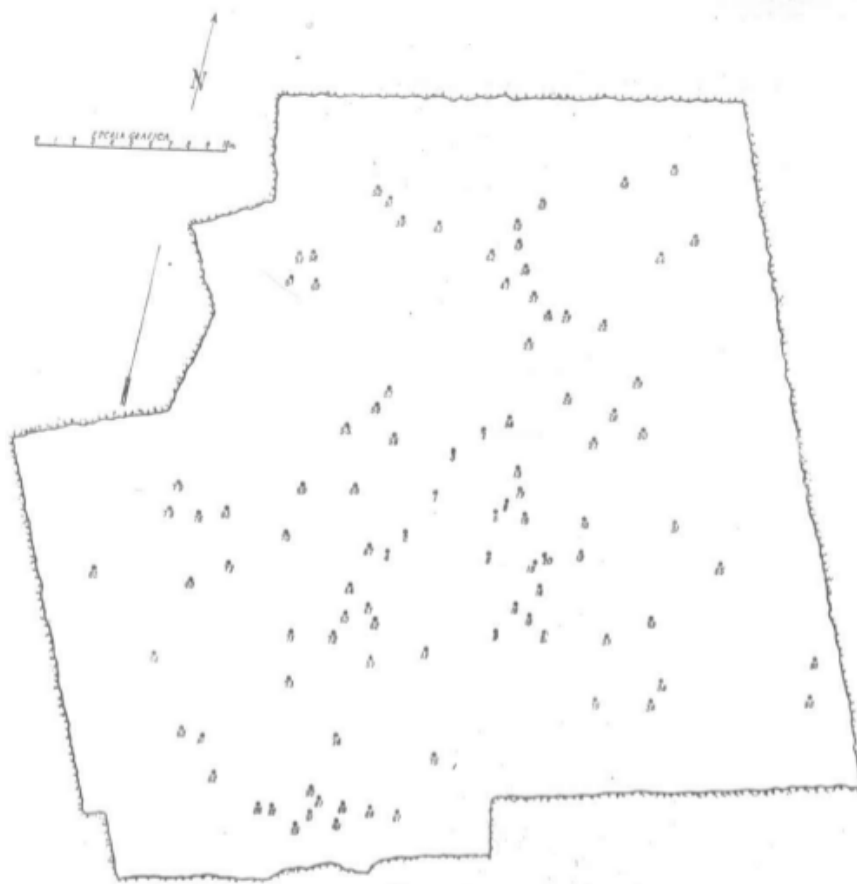


Figura 4.30: Mapa de situación de la necrópolis de Almaluez (Lorrio, 1997).

- **ALPANSEQUE** (Taracena, 1941). Citada también en la obra de Blas Taracena, excavada por el Marqués de Cerralbo en 1916, con unos 300 enterramientos recuperados. Un ejemplo del material topográfico puede verse en la figura 4.38. De todas formas tampoco pudo ser incluido en el estudio.
- **LA MERCADERA** (Taracena, 1932). Fue excavada por Blas Taracena en el año 1932, en los trabajos de excavación que se realizaron se recuperaron unas 100 tumbas como se puede observar en la imagen 4.31.



**Figura 4.31:** Mapa de la necrópolis de La Mercadera (Cuadrado, 1968).

- LA REVILLA (CALATAÑAZOR) (Ortego, 1983). Identificada como arévaca por su descubridor y excavador Teógenes Ortego. Los datos de algunas tumbas y sus materiales fueron publicados en 1983. Otro ejemplo de mapas de situación como única información espacial, imposible su inclusión en el estudio.
- MONTEAGUDO DE LAS VICARIAS (Taracena, 1941). Fue excavada por Blas Taracena en el año 1932, de sus enterramientos han podido recuperarse estelas de hasta dos metros y medio. No aparece material topográfico entre la bibliografía y, por lo tanto, no pudo ser incluido en el estudio.
- REQUIJADA (GORMAZ) (Morenas de Tejada, 1916a). Se han registrado en torno a 1200 enterramientos en esta necrópolis que fue excavada por primera vez en 1914 por Ricardo Morenas de Tejada. Según su primer excavador aparecieron hasta 25 líneas de enterramientos orientadas Norte Sur, este tema fue muy po-



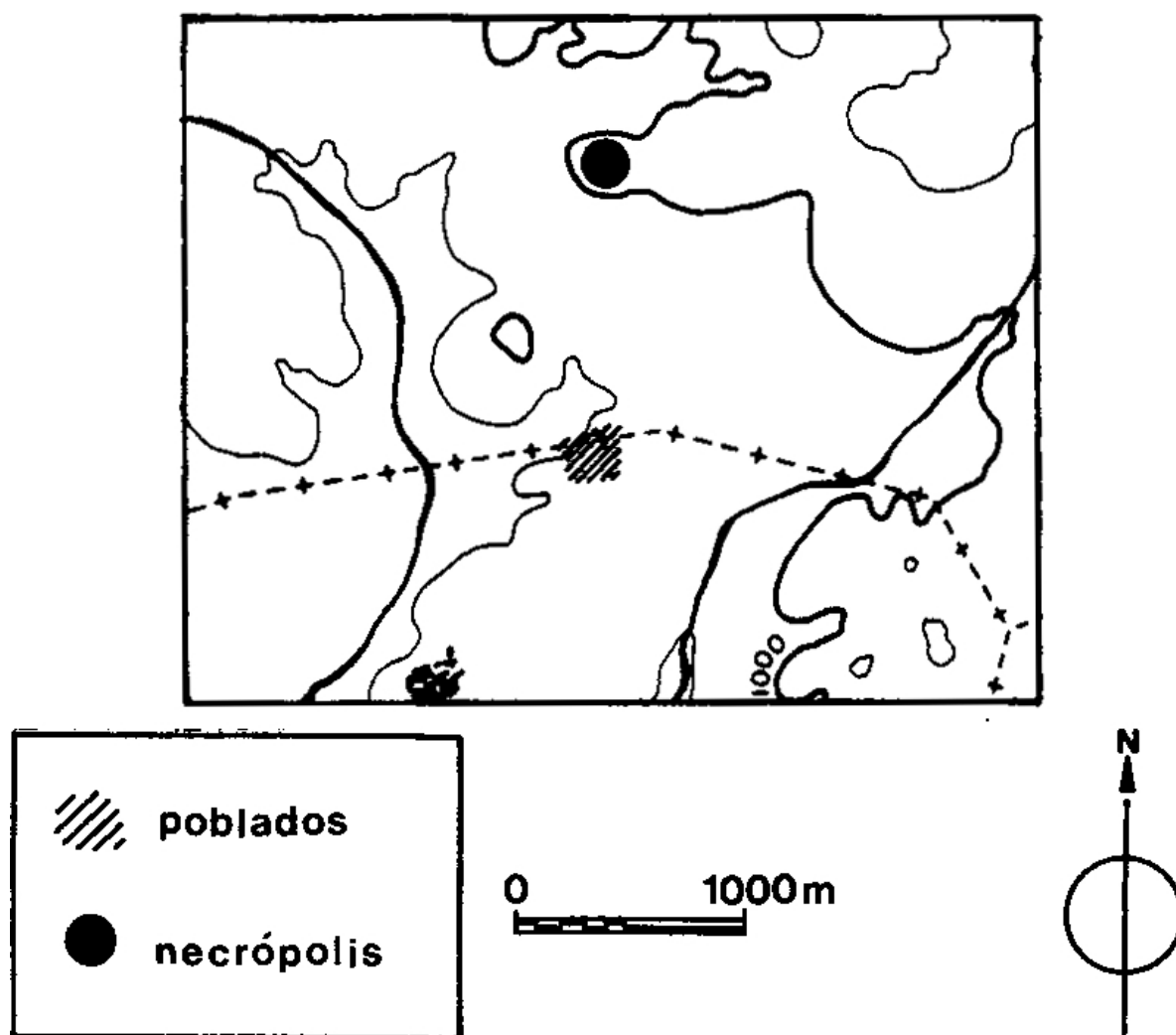


Figura 4.32: Mapa de situación de la necrópolis de La Revilla (Ortego, 1983).

lémico entre M. Almagro Basch y J. Cabré (Lorrio, 1997, pp. 19-20). El primero dudaba de la existencia de las alineaciones tachándolas de fantásticas mientras que Cabré apoyaba su existencia ya que pudo visitar los trabajos de excavación de la necrópolis y fue el autor del material gráfico existente del yacimiento. El material es defectuoso y no pudo ser incluido, un ejemplo -que se comentará posteriormente- puede verse en la imagen 4.40.

- UCERO (García-Soto (1988), García-Soto (1988)). Conocida necrópolis es conocida desde hace años por los lugareños y aunque se intervino arqueológicamente por primera vez en el año 1980, ha sido excavada de forma continuada hasta el año 1985. Se trata de una necrópolis de la que se ha recuperado una

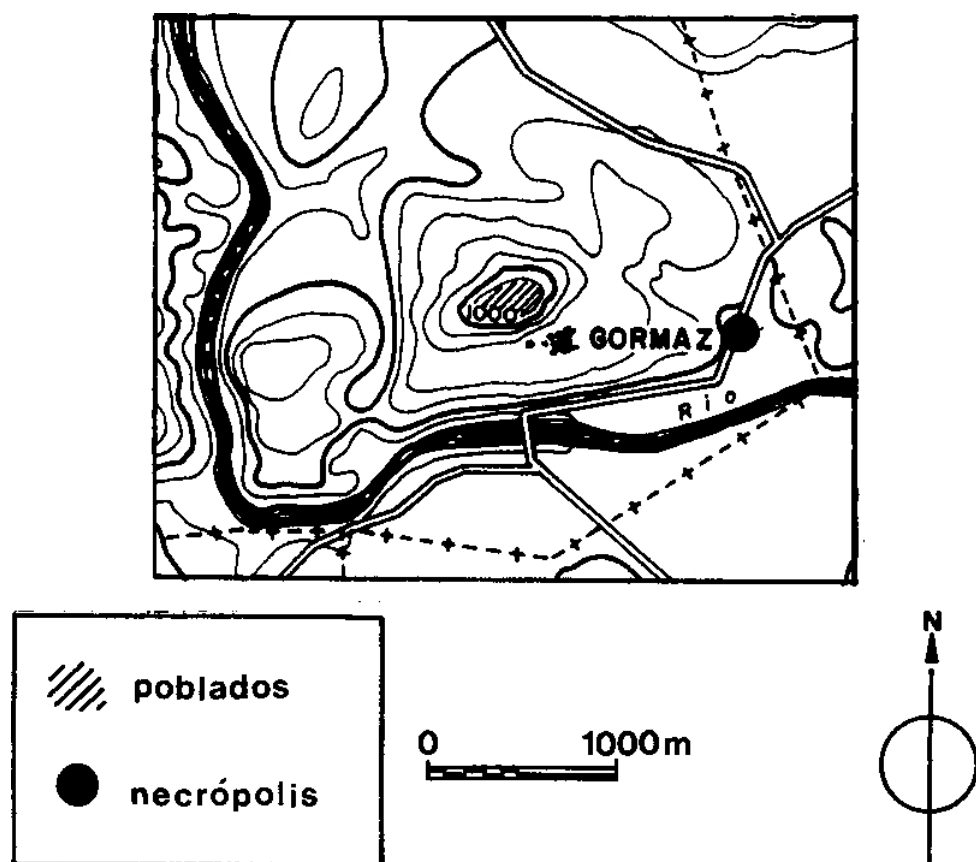


Figura 4.33: Mapa de situación de la necrópolis de Gormaz (Lorrio, 1997).

gran cantidad de material y de diversa e interesante tipología. El material topográfico es muy parcial respecto del tamaño total de la necrópolis 4.35, por lo tanto, no pudo ser incluido.

- VADO DE LA LÁMPARA (MONTUENGA) (Aguilera y Gamboa, 1909). Fue descubierta y excavada por primera vez por el Marqués de Cerralbo en los primeros años del siglo XX apareciendo comentada en la obra de Cerralbo en 1909. En el caso de esta necrópolis tampoco aparece material topográfico, siendo excluida del estudio.
- VIÑAS DE PORTUGUI (OSMA) (Morenas de Tejada (1916b), García Merino (1973)). Su excavación fue llevada a cabo por Ricardo Morenas de Tejada entre 1915 y 1916. Se conservan materiales de un total de 36 tumbas que se reparten entre varios museos y colecciones privadas (Fuentes Mascarell, 2004). No apa-



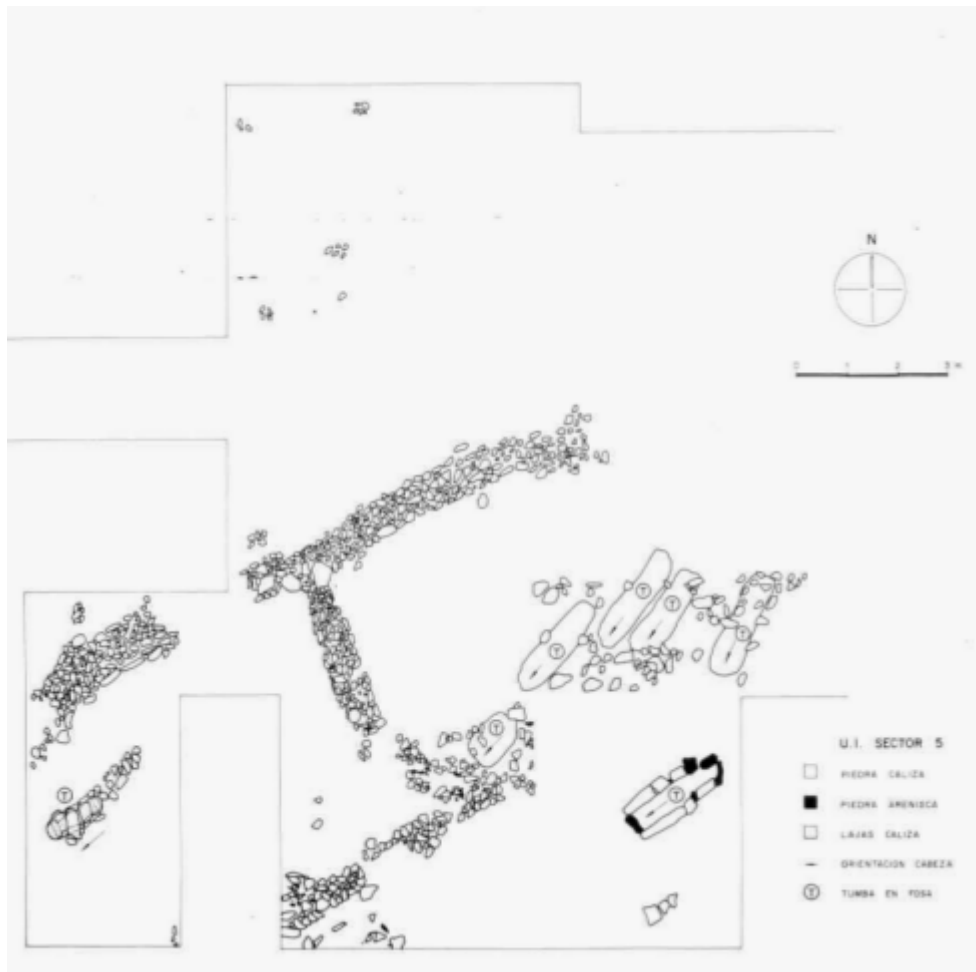
**Figura 4.34:** Sector 2 de la necrópolis de Uclero (Lorrio, 1997).

recen datos de la distribución espacial de la necrópolis en la bibliografía del yacimiento.

- CARRATIERMES ((de Figueroa y Torres, 1910), (Calvo, 1913, 347-387), (Sentenach, 1911, 176-190), (Cabre, 1917, 50-51), Argente Oliver y otros (2000)). Se tienen noticias de su existencia, aunque con no demasiada exactitud desde el año 1910 por parte del conde de Romanones (de Figueroa y Torres, 1910). La necrópolis se encuentra aproximadamente a un kilómetro de la antigua ciudad celtibérica y romana de Tiermes (Montejo de Tiermes, Soria), en una zona ligeramente elevada y en pendiente próxima al río Manzanares.

Como ya se ha comentado había incertidumbre en cuanto a la ubicación exacta de la necrópolis que se eliminó gracias a unos trabajos agrícolas- que desgraciadamente eliminaron un buen número de tumbas- en 1970, una posterior inspección ocular en 1975 y el inicio de los trabajos arqueológicos en la primavera de 1977. La cronología de la necrópolis se data entre desde fines del siglo VI a.C. hasta fines del I d.C.

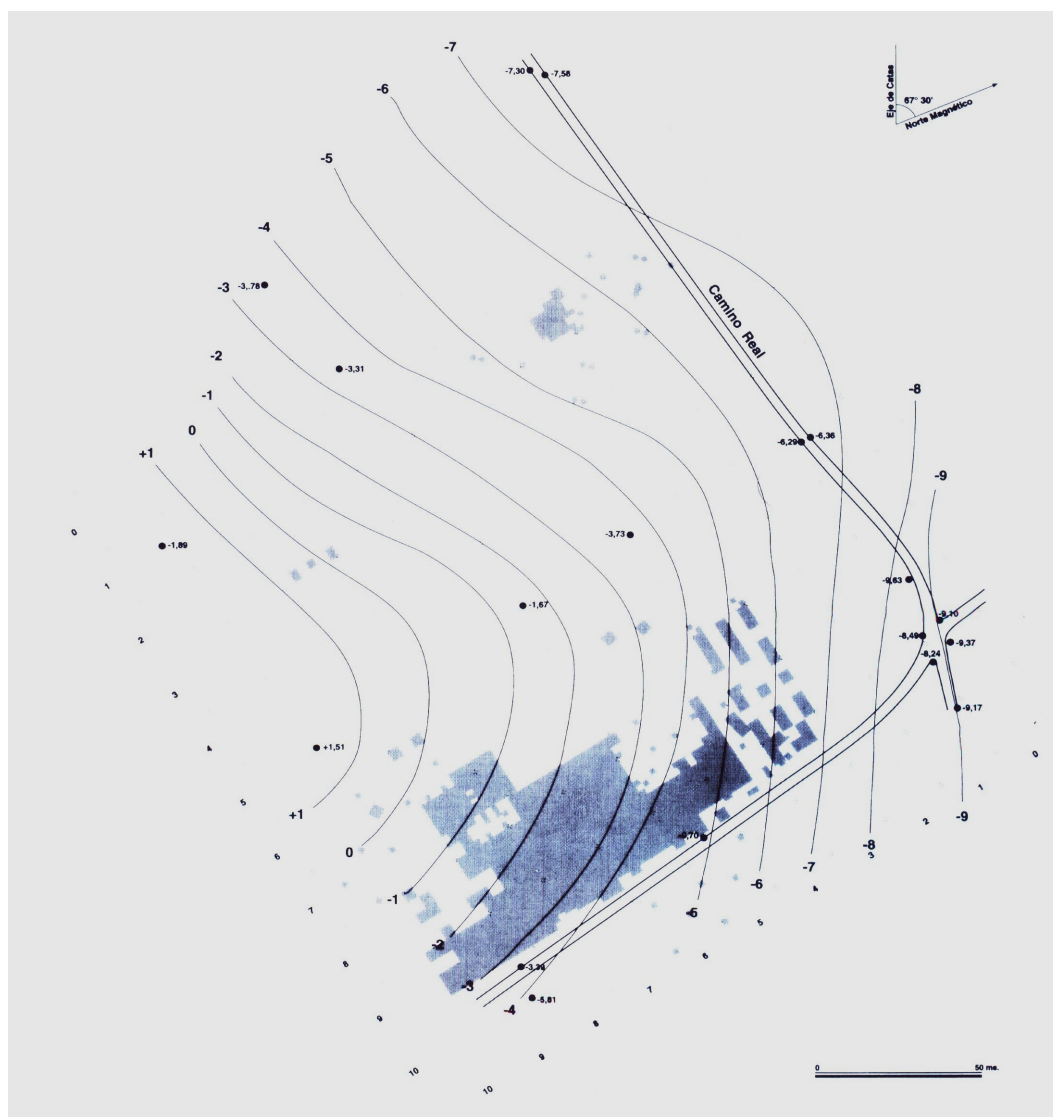
Desde 1986 a 1991 se realizaron trabajos de excavación arqueológica continuados, haciendo aflorar un registro de 645 tumbas, distribuidas en dos zonas



**Figura 4.35:** *Planimetría parcial de la necrópolis de Ucero (Lorrio, 1997).*

diferenciadas dentro del rea excavada. Se distinguen tres fases de utilización de la necrópolis (Argente Oliver y otros, 1989, 88-90):

- Protoceltibérica - Las tumbas aparecen en estructuras en hoyo cubiertas por piedras.
- Celtibérica Plena - En este periodo aparecen los restos humanos en urnas funerarias sin tapadera protegidas con piedras. Aparecen estructuras típicas a base de lajas de piedras, orientadas de norte a sur, que se clavan paralelas al terreno protegiendo la urna.
- Celtibérica Tardía - En esta última fase aparecen cerámicas de tradición indígena o de cerámica común romana.



**Figura 4.36:** *Planimetría general de la necrópolis de Ucero en relación con el lugar de habitación (Argente Oliver y otros, 2000, pp. 45).*

- NUMANCIA (Jimeno y otros, 2004). La necrópolis de Numancia es de reciente descubrimiento (1993), aunque las primeras excavaciones del yacimiento datan de 1803 (Jimeno y otros, 2004, pp. 11 ss.), de mano de D. Juan Bautista Erro. En estos más de doscientos años de trabajos arqueológicos se han dado numerosas campañas de diverso corte. A la comenzada en 1803 de carácter principalmente filológico hay que añadir las llevadas a cabo el siglo XIX por la Real Academia de la Historia entre los años 1861 y 1867 (Saavedra (1861, 1867)). Estos trabajos fueron consecuencia de los trabajos previos de E. Saavedra en la vía romana de Uxama a Augustobriga y que desencadenaron el conocimiento de la ubicación exacta de Numancia y de su declaración de Monumento Nacional el 25 de Agosto de 1882.

En 1906 se retomaron los trabajos -por parte de una nueva Comisión de la Real Academia de la Historia- hasta el año 1923. Durante estos trabajos se pusieron de relieve aproximadamente la mitad de la superficie total del yacimiento y de su trama urbana. También en este periodo comenzaron los trabajos arqueológicos y topográficos dirigidos por Schulten Schulten (1905, 1908, 1909, 1914, 1927, 1929, 1931, 1945) que tuvo a Könen y Lammerer como colaboradores, dando comienzo los mismos en el año 1914 y finalizando en 1931. Después de estos trabajos y los llevados a cabo en el año 1940 por Blas Taracena (Taracena (1941); VV.AA. (1912)) el yacimiento permanece abandonado (salvo por algunos trabajos esporádicos en los años 70 y 80 que fueron mal documentados y la información que aportan está descontextualizada) hasta la década de los años noventa.

La necrópolis fue intensamente buscada tras retomarse el interés por el yacimiento. Aunque estas búsquedas dieron como resultado el hallazgo de numerosas concentraciones de huesos e incluso cráneos completos la situación exacta del recinto necropolitano no se conoció hasta el año 1993. En este año se dan a conocer a los técnicos arqueólogos provinciales y del director del Plan Director que se encuentra bajo la dirección de Alfredo Jimeno (Jimeno y Morales (1993b,a); Jimeno (1993); Jimeno y Morales (1993a)), unos excavaciones realizadas furtivamente que trajeron como consecuencia el hallazgo y el estudio -durante tres campañas en el periodo 1993-1995- de la necrópolis.

El estudio de esta necrópolis celtibérica *"...ofrece una nueva dimensión para la comprensión de la Numancia celtibérica, del 133 a. de C., ya que al ser la ciudad peor documentada arqueológicamente, la conocemos básicamente a través de los textos*

*de los historiadores grecoromanos, que nos aportan una información sesgada y desde una perspectiva condicionada por acontecimientos bélicos.”* (Jimeno y otros, 2004, pg. 14). Ejemplo de ello son los datos obtenidos relacionados con los análisis osteológicos, dieta alimenticia, nuevos aspectos del ritual funerario celtibérico y la relación de la necrópolis con ciudad del año 133 a. de C. (Jimeno (1996); Jimeno y Trancho (1996); Jimeno y otros (1996, 1999); Flores y otros (1999))

En este caso tenemos un buen mapa de la posición de las tumbas aparecidas en el recinto metropolitano de Numancia, podemos verlo a continuación en la figura 4.37.

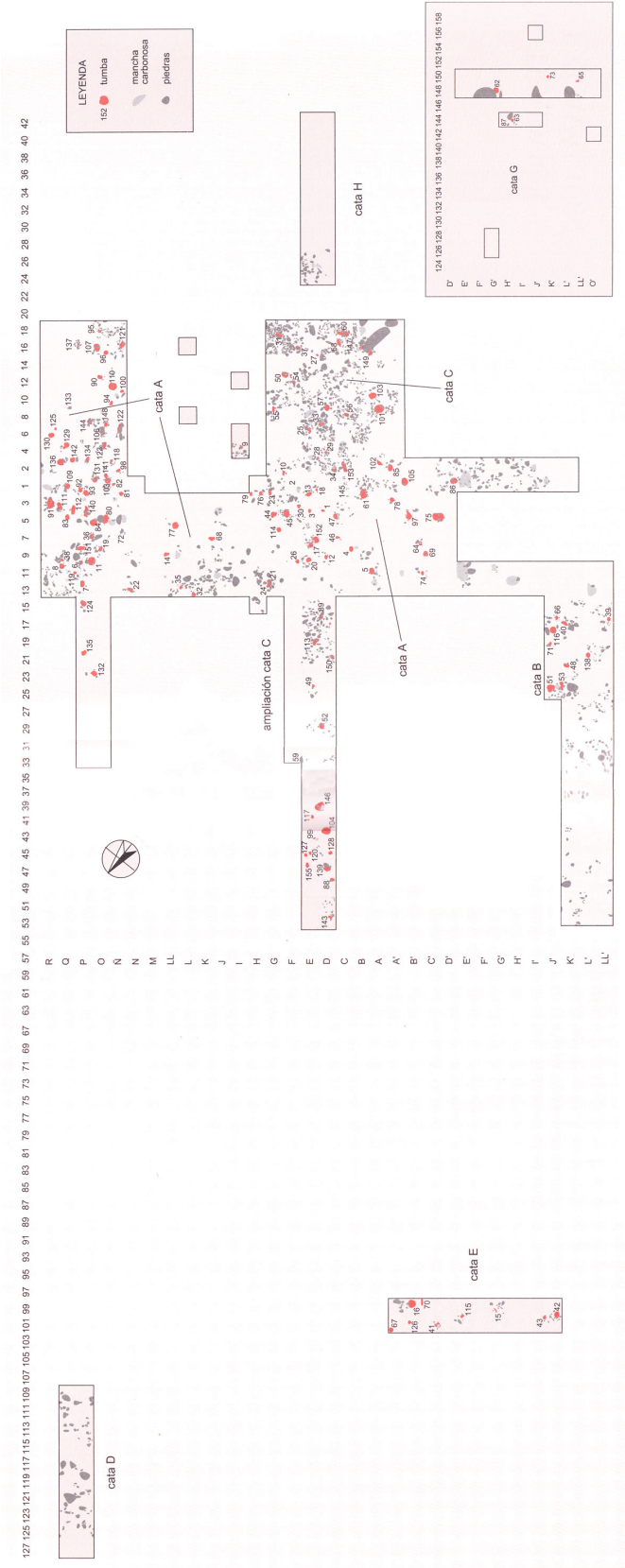


Figura 4.37: Mapa de la necrópolis de Numancia (Jimeno y otros, 2004).



Tras la revisión del material bibliográfico disponible sobre las necrópolis revisadas en el estudio se puede concluir que la documentación geográfica de los yacimientos es inexistente o en ocasiones no todo lo precisa que cabría esperar. En numerosos casos -Chera, Clares, Garbajosa, Luzaga, El Atance, Carabias, Valdenovillos, Hijes, Vado de la lámpara, Almaluez, Viñas de Portuguí, Requijada, Alpanseque y La Mercadera- el material cartográfico es sencillamente inexistente, lo cual es especialmente grave en el contexto arqueológico ya que los yacimientos suelen destruirse en el momento de la intervención arqueológica o tras la acción del furtivismo y no se puede rehacer la cartografía del yacimiento en cuestión.

Diferente situación se da en Aguilar de Anguita, Riba de Saelices, Altillo del Cerropozo, Monteagudo de las Vicarias, Ucero y La Revilla, donde existe material cartográfico pero éste es antiguo y de zonas muy acotadas respecto del conjunto del yacimiento, es defectuoso o realizado sin rigor topográfico. Como casos paradigmáticos -en ningún caso excepcionales- podemos concretar dos casos con la documentación aportada por Argente referente a Aguilar de Anguita (Argente Oliver, 1977) o M. Cerdeño referente a la necrópolis de Molina (Cerdeño y otros, 1981). Si nos referimos a la bibliografía respectiva de cada una de las necrópolis la primera estaría en las coordenadas 41° 3' 50" de latitud Norte y 1° 16' 40" de longitud Este y 40° 46' 2" de latitud Norte y 1° 55' 35" de longitud Este, la segunda. Colocando ambas coordenadas sobre el mapa (ver figura 4.39), los sitios arqueológicos se sitúan en el mar mediterráneo. Tras la búsqueda de los lugares donde se ubican realmente estos yacimientos, se observa que el error viene asociado a la mala elección del origen del sistema de referencia que se debe tomar para la medición de la longitud. En este caso se toma la ciudad de Madrid como origen en lugar del meridiando, este es uno de los errores que se ha podido detectar en la bibliografía.

Otros ejemplos, de excavaciones más antiguas, podemos encontrarlo en la figura 4.40, donde el plano es realizado a mano alzada y sin referencia alguna que nos permita georreferenciar el recinto. Pero no solo se trata del modo de realizar el dibujo como nos ilustra la figura 4.41 donde el gráfico es de mejor factura, sino que a pesar de ello no aporta prácticamente ningún dato de relevancia topográfica. No quiero decir con esto que el gráfico no sea de utilidad arqueológica, en cambio sí quiero expresar que se trata más de un dibujo cualitativo que material topográfico propiamente dicho y que, por lo tanto, será inútil para posteriores trabajos de carácter espacial. Como ejemplo final de esto último, podemos ver el ejemplo de la necrópolis de Requijada de Gormaz (figura 4.40), donde además de estar dibujado a

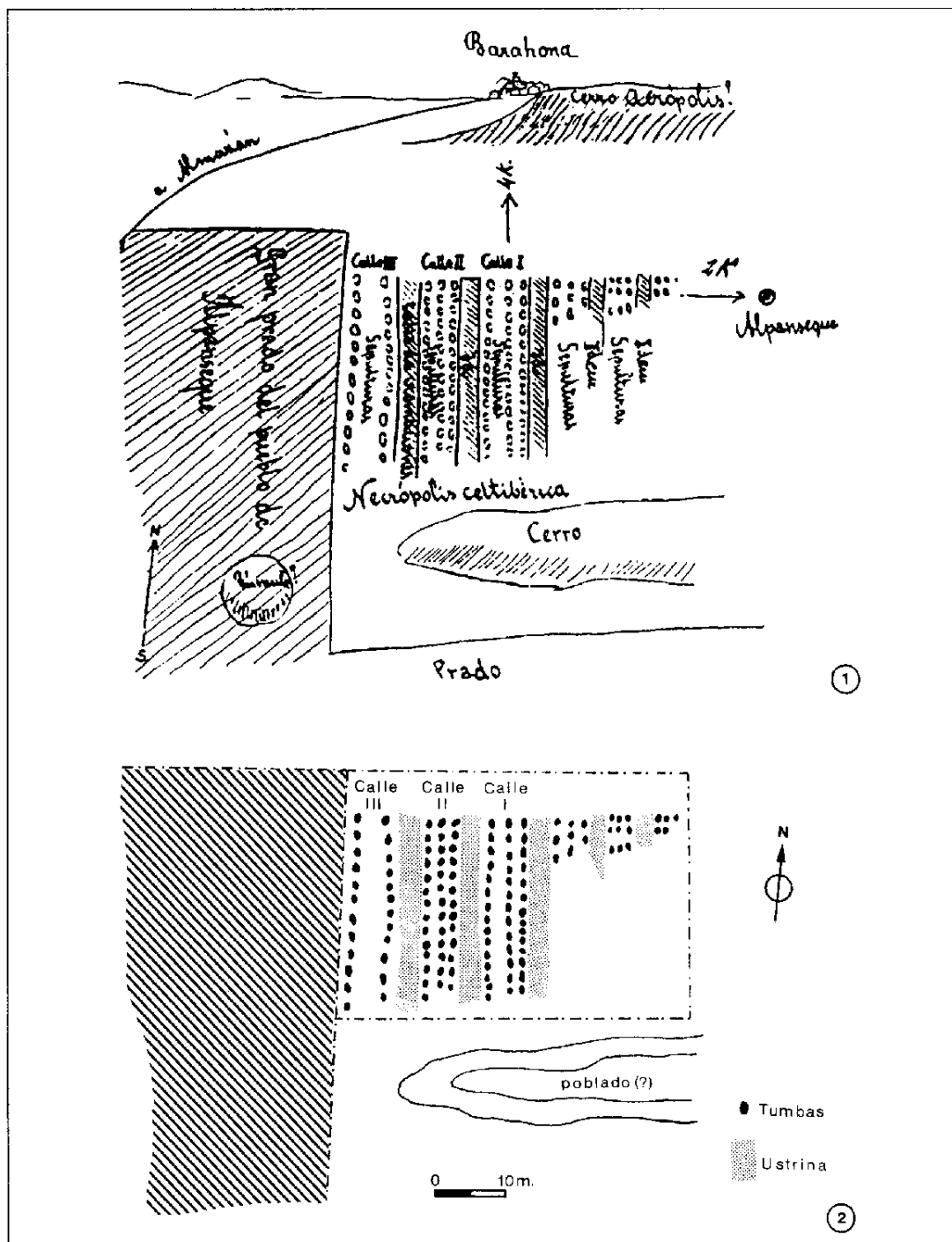
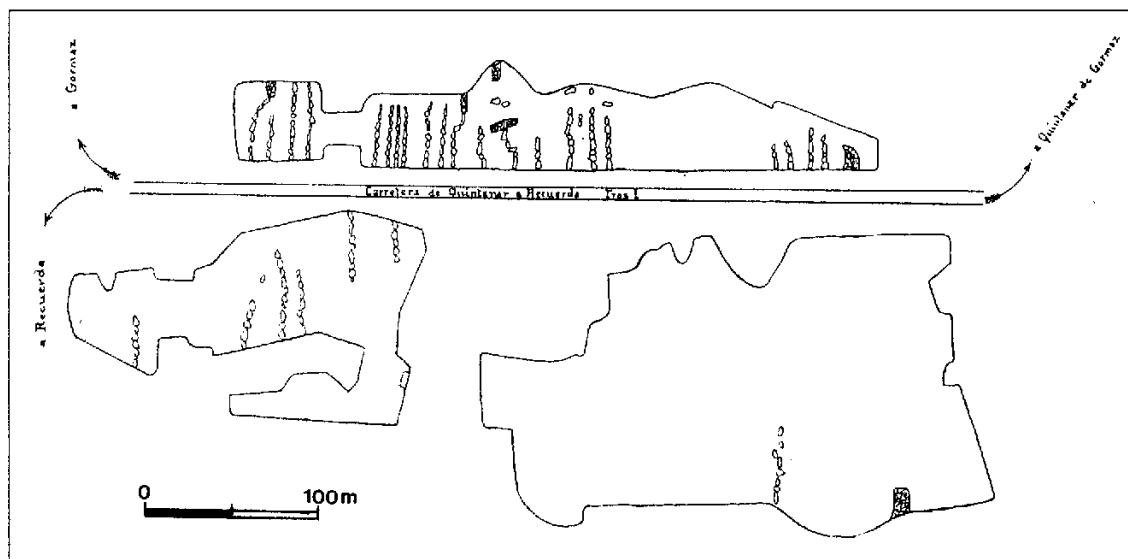


Figura 4.38: Plano (1) e interpretación (2) de la necrópolis de Alpanseque (Lorrio, 1997, pg. 16)

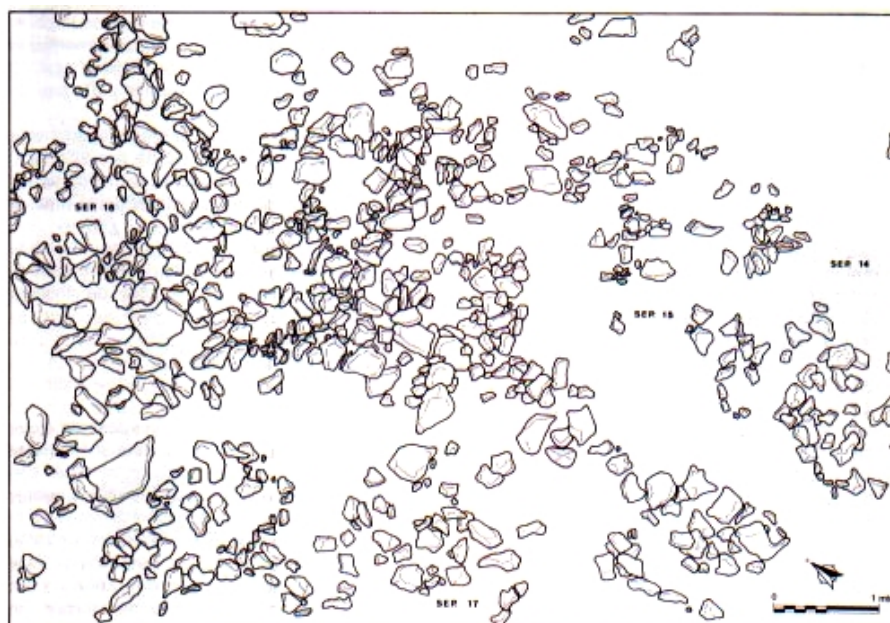


**Figura 4.39:** Comparación de la situación geográfica de la necrópolis real y la que aparece en la bibliografía. En el caso de Aguilar de Anguita la posición bibliográfica es (1) y la real (A), equivalentemente (2) y (B) para la necrópolis de Molina.

mano alzada de nuevo, ni siquiera aparece la dirección que marca el punto cardinal norte.



**Figura 4.40:** Plano de la necrópolis de Requijada de Gormaz (Lorrio, 1997, pg. 19)



**Figura 4.41:** Ejemplo de plano arqueológico en los trabajos realizados en la necrópolis de Sigüenza en 1978 (Cerdeño y Pérez de Ynestrosa, 1993)

Nuestro proceso de revisión bibliográfico arroja que tan solo el 4.1% de las necrópolis celtibéricas estudiadas son hábiles para realizar un estudio espacial. Un 12.5% del total de las necrópolis estudiadas finalmente (teniendo en cuenta las ca-

talanas y aragonesas de las que hablaremos a continuación). Estas cifras constatan los problemas que se han detectado en la documentación técnica arqueológica en sus aspectos territoriales y espaciales. Afortunadamente estos problemas tienden a ir disminuyendo en la actualidad y son numerosos los estudios que realizan serios y concienzudos trabajos a este respecto. Por desgracia, esto no puede ser llevado a los objetos de estudio de este trabajo, ya que muchos de los lugares fueron destruidos o modificados al excavarlos en los años pasados.

### 4.1.3. Las necrópolis catalanas y aragonesas del Bronce Final

Como el número de necrópolis celtibéricas nos resultaba en una pobre muestra estadística para el estudio se decidió ampliar la base de datos a las necrópolis de incineración de Campos de Urnas catalanes y aragoneses, a las que se pueden considerar precedentes de las celtibéricas según defiende muchos autores Royo Guillén (1990), Ruíz Zapatero y Lorrio (1999), entre otros. El interés se centraba en conocer si el cambio cultural que se produjo entre el Bronce Final y la Edad de Hierro tuvo reflejo en las creencias simbólicas y, consecuentemente, en las formas de enterramiento desde el punto de vista astronómico.

El primer punto de interés para las nuevas necrópolis era referente a la reducción de las planimetrías, correspondientes a cada una de las necrópolis, a un sistema de referencia local que nos permite referenciar cada una de las tumbas por separado en términos relativos, mediante el ángulo que forma el norte -que aparece en los mapas- y las tumbas. Para este cálculo se tomó el año 815 a. de C. y con un valor de la eclíptica para ese año de  $23^{\circ}47'$ . Para comparar los resultados de los acimuts de las diferentes necrópolis se calcularon los valores de los ángulos acimut y declinación en el orto y el ocaso de la parada mayor lunar, también se calcularon los mismos datos para los eventos solsticiales.

Para realizar la reducción de las planimetrías a unas coordenadas locales se digitalizaron todas las tumbas de cada necrópolis para posteriormente realizar un ajuste lineal por mínimos cuadrados o regresión lineal. Este método consiste en colocar un conjunto definido de datos en formato (x,y) de forma que se acomoden de la mejor manera posible a una recta de ecuación  $y=ax+b$ , donde  $a$  es la pendiente y  $b$  la ordenada en el origen. Para explicar el método tomemos un grupo de  $n$  parejas  $(x_i, y_i)$  de datos experimentales, entonces los valores de la pendiente y la ordenada en el origen vendrán dados por las expresiones 4.1 y 4.2:

$$a = \frac{1}{D} \sum_{i=1}^n (x_i - \langle x \rangle) y_i \quad (4.1)$$

$$b = \langle y \rangle - a \langle x \rangle \quad (4.2)$$

donde  $\langle x \rangle$  e  $\langle y \rangle$  representan las medias de los datos  $x_i$  e  $y_i$  respectivamente, de la forma:

$$\langle x \rangle = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (4.3)$$

$$\langle y \rangle = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad (4.4)$$

El valor del parámetro  $D$ , viene dado por la expresión  $D = \sum_{i=1}^n (x_i - \langle x \rangle)^2$ . Como en cualquier ocasión donde haya un conjunto de datos, tenemos asociados los errores absolutos correspondientes a la pendiente,  $\varepsilon_a$  y a la ordenada en el origen,  $\varepsilon_b$  según las expresiones 4.5 y 4.6:

$$\varepsilon_a \approx \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n d_i^2}{D(n-2)}} \quad (4.5)$$

$$\varepsilon_b \approx \sqrt{\left(\frac{1}{n} + \frac{\langle x \rangle^2}{D}\right) \frac{\sum_{i=1}^n d_i^2}{(n-2)}} \quad (4.6)$$

donde  $d_i = y_i - ax_i - b_i$ . Por lo tanto, la forma correcta de escribir los valores definitivos de la pendiente y la ordenada en el origen vendrán determinadas por las expresiones:

$$a \pm \varepsilon_a \quad (4.7)$$

$$b \pm \varepsilon_b \quad (4.8)$$

Un parámetro habitual para conocer el grado de idoneidad de ajuste de los datos a la recta de regresión es el parámetro de regresión lineal,  $r$ . A menudo también puede verse como en su forma cuadrática,  $r^2$  y se define según la siguiente expresión:

$$r = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (ax_i + b - \langle y \rangle)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \langle y \rangle)^2}} \quad (4.9)$$

Este parámetro está comprendido entre 0 y 1, siendo el caso ideal  $r^2 = 1$  que sería el caso en el que todos los datos experimentales cayeran sobre la recta de regresión calculada y el 0 el caso en el que ninguno de los datos lo hiciera.

Tras el cálculo de los parámetros de la recta de regresión solo resta el cálculo del ángulo que forma dicha recta con el Norte, es decir, el acimut. A tal fin se ha desarrollado un programa en el lenguaje interpretado que proporciona Octave para el cálculo del ángulo acimutal, el código fuente puede verse en A5.1.

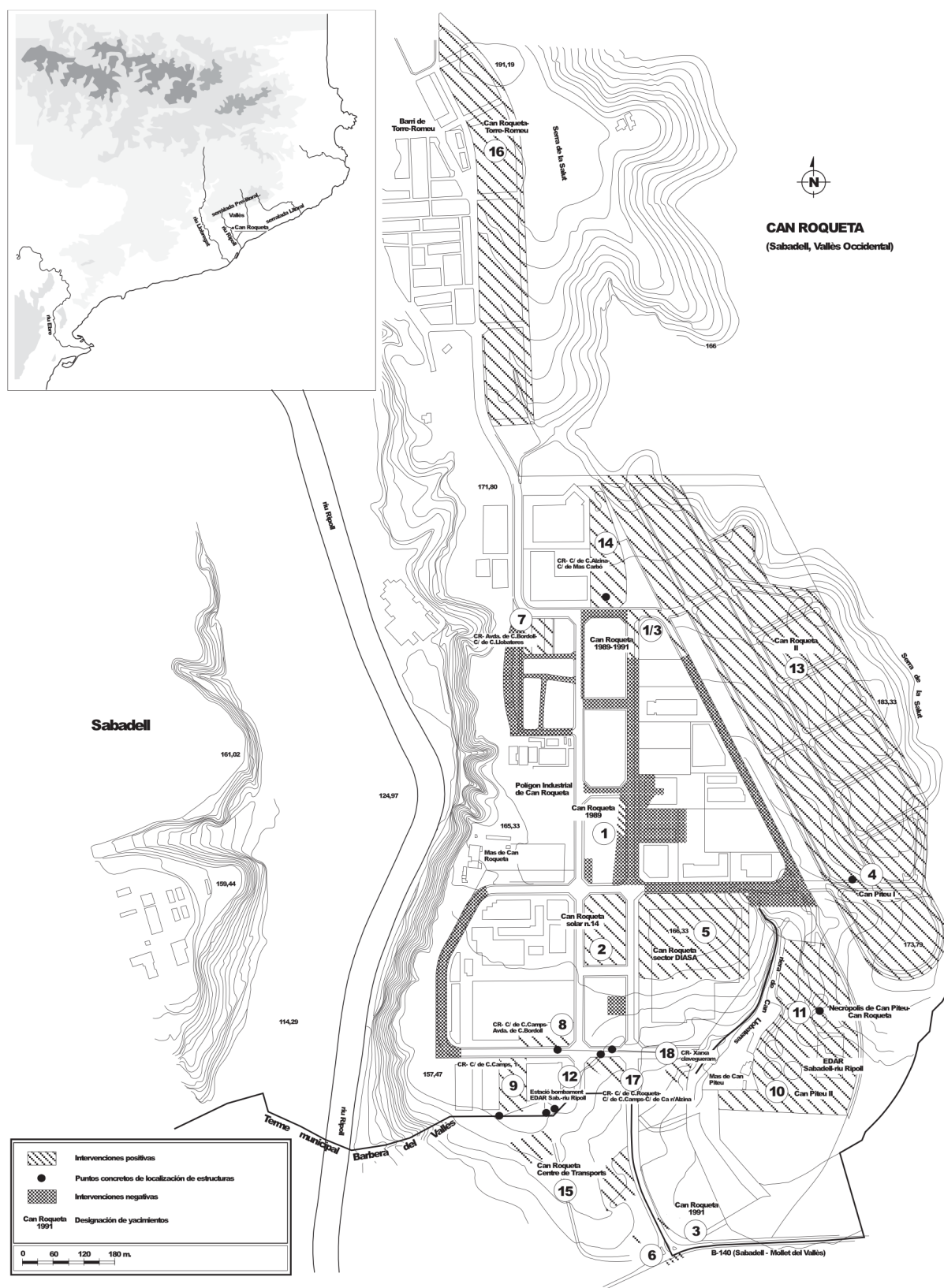
### Necrópolis de Can Piteu-Can Roqueta

La primera intervención en la necrópolis se realizó durante los años 1999 y 2000, según aparece en (Carlús y otros, 2002b) en terrenos de la propiedad de la Junta de Sanejament d'Aigües del Departamento de Medio Ambiente de la Generalitat de Cataluña. Dicha intervención se realizó con motivo de las obras para la construcción de una estación depuradora de aguas residuales (EDAR Sabadell – río Ripoll). El recinto de la necrópolis se encuentra en la vertiente occidental de la Serra de Sant Iscle, entre el camino de la Salut y la ribera izquierda del torrente de Can Llobateres. Se han encontrado un total de 1110 estructuras del Bronce final y la Primera Edad del Hierro, de las cuales 1046 son tumbas de incineración. De las 1046 tumbas, 493 son del Bronce final y 213 de la Primera Edad del Hierro, la cronología del resto es indeterminada. El conjunto de tumbas ocupan un total de  $850 \text{ m}^2$ , orientado de noroeste a sureste. Todo parece indicar que ocupaba un mayor espacio que fue eliminado en los años 70 del siglo XX por la construcción de unas naves industriales.

El estudio astronómico que hemos realizado, y que aparece en las líneas siguientes, se llevó a cabo a partir de las tumbas del Bronce Final de la zona oriental de la necrópolis. En total 198 enterramientos de incineración de los 493 que hemos citado anteriormente. Este filtro previo se ha tomado del trabajo que aparece en Carlús y otros (2002a) y a partir de él la planimetría detallada de la imagen 4.43.

Arqueológicamente son estructuras de enterramiento del tipo 1 de Pons (Pons, 2000), constituidas por fosas excavadas en el subsuelo, de tamaño ajustado a los materiales del interior. En estas fosas aparecen los restos incinerados depositados dentro de una urna coronada por una tapa cerámica o una piedra labrada. Este tipo de enterramientos forman los llamados, ver Ruiz (2001), cementerios planos. Este tipo de necrópolis son conocidas en como pertenecientes al Bronce final y a la Primera Edad del Hierro tanto en la zona del Ebro como en los Pirineos, algunos ejemplos los





**Figura 4.42:** Plano de distribución de los lugares de interés arqueológico en la zona arqueológica de Can Roqueta. (Carlús y otros, 2002b).

veremos posteriormente al hablar de las necrópolis de Can Bec de Baix, Can Missert y el Molar.

### Can Piteu-Can Roqueta

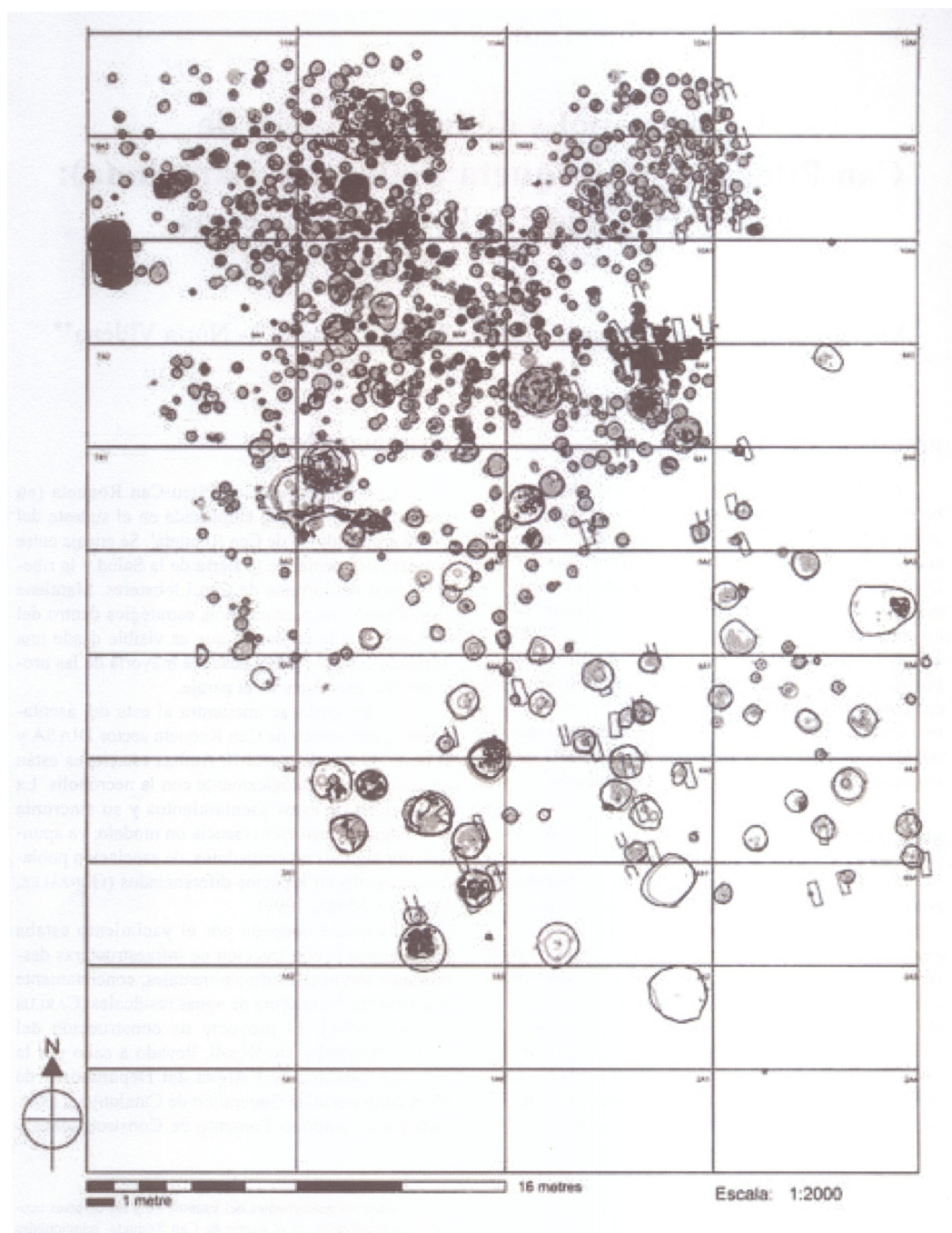
En el caso de esta necrópolis podemos ver representada la nube de puntos en la figura 4.44 junto con la superposición de la recta de ajuste que viene determinada por la ecuación  $y = -0,20x + 149$ , los parámetros de dicha ecuación, para el caso de la necrópolis de Can Piteu-Can Roqueta, son  $a = -0,20 \pm 0,04$  para la pendiente y  $b = 149 \pm 3$  para la ordenada en el origen. Aplicando ahora el programa desarrollado para este trabajo angrect.m, cuyo código puede leerse en A5.1, se pasa a calcular el ángulo que forma dicha recta de ajuste con el Norte, arrojando, así, el valor del acimut. El valor en cuestión fue de  $101^\circ 32'$ .

### Necrópolis de Les Obagues

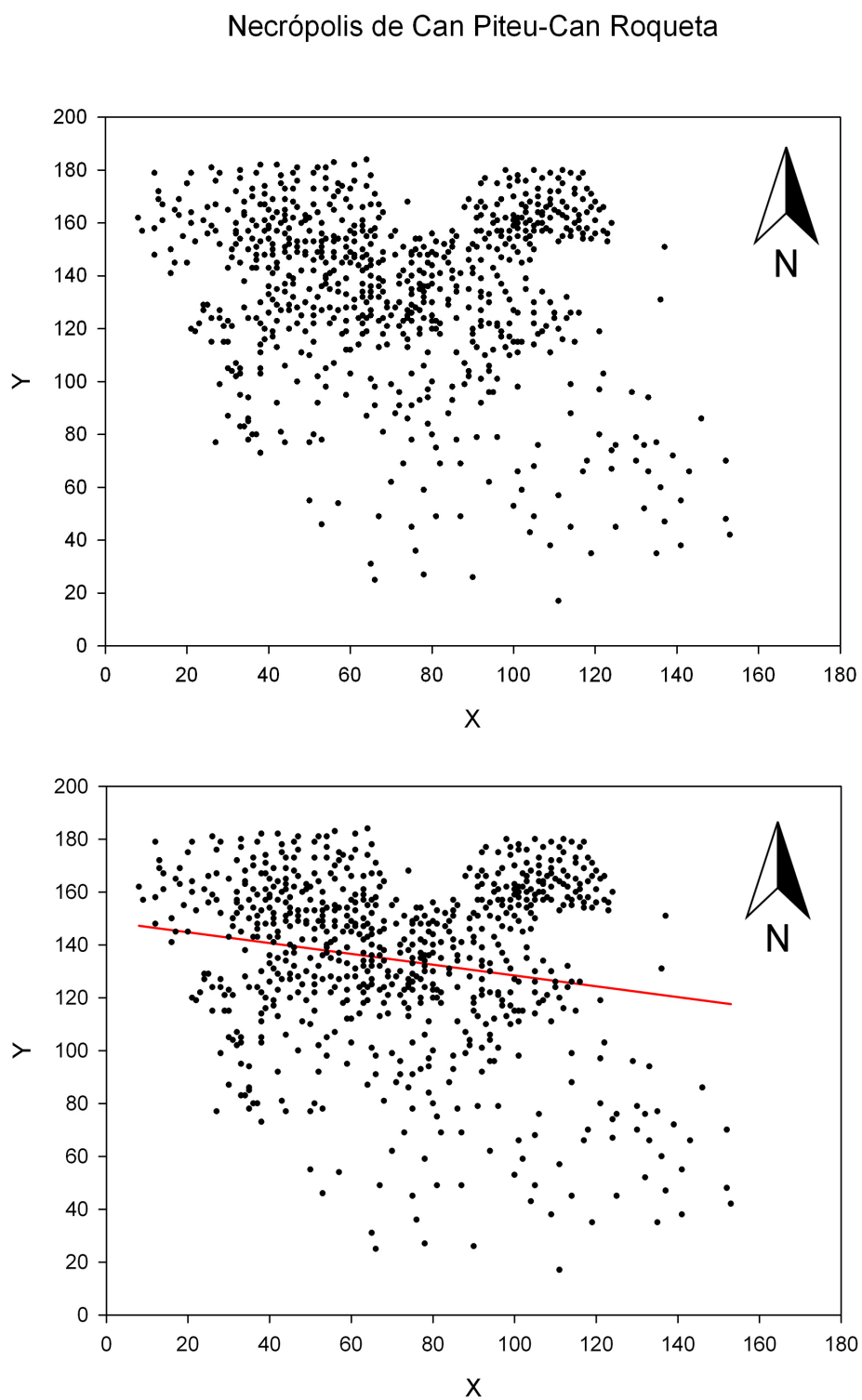
Este yacimiento se descubrió durante una inspección por la zona en la que intervino Vilaseca (Vilaseca, 1947). Se ubica al pie de la ladera norte del Montsant, en el municipio de Ulldemolins, entre el municipio vecino de Cornudella de Montsant y las ermitas de Santa Magdalena y Sant Antoni. El cerro donde se ubicaba la necrópolis era de forma cónica y elevado unos 7 metros de altura sobre el nivel del suelo del camino por el que se accede al recinto con una base de unos 40 metros.

Desde dicho cerro puede verse Fra Guerau, Les Crestes, la sierra de la Llena, Ulldemolins, el Tossal de la Baltasara de 1201 metros sobre el nivel del mar y el Coll de Forcals de Prades, la Sierra de la Gritella entre Prades y Ciurana, el pueblo de Albarca y toda la falda nordeste del Montsant.

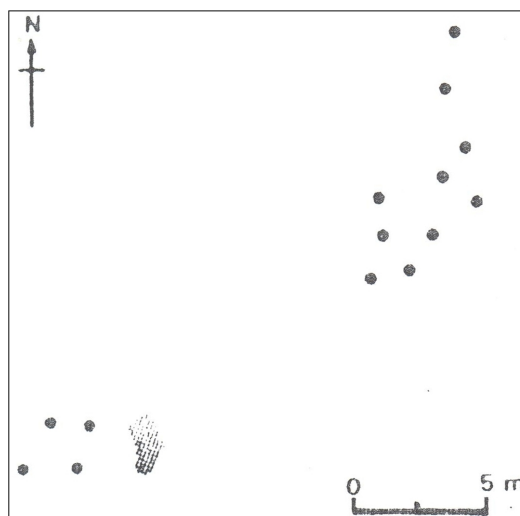
En esta necrópolis el número de puntos es bastante inferior, en cambio el ajuste se ajusta mejor a la recta con un  $r^2 = 0,83081$ , como se ve en la figura 4.46 junto con la superposición de la recta de ajuste que viene determinada por la ecuación  $y = 0,70x - 1,5$ , los parámetros de la recta de regresión son  $a = 0,70 \pm 0,09$  para la pendiente y  $b = -1,5 \pm 8,5$  para la ordenada en el origen. Aplicando el programa angrect.m, aparece un valor para el acimut de  $55^\circ 5'$ .



**Figura 4.43:** Planta general de las tumbas de la necrópolis de Can Piteu-Can Roqueta. (Carlús y otros, 2002a).



**Figura 4.44:** Distribución espacial de la necrópolis de Can Piteu-Can Roqueta en coordenadas relativas ( $x,y$ ), junto con la recta de ajuste por mínimos cuadrados.



**Figura 4.45:** *Planta general de las tumbas de la necrópolis de Les Obagues.*

### Necrópolis de La Torraza

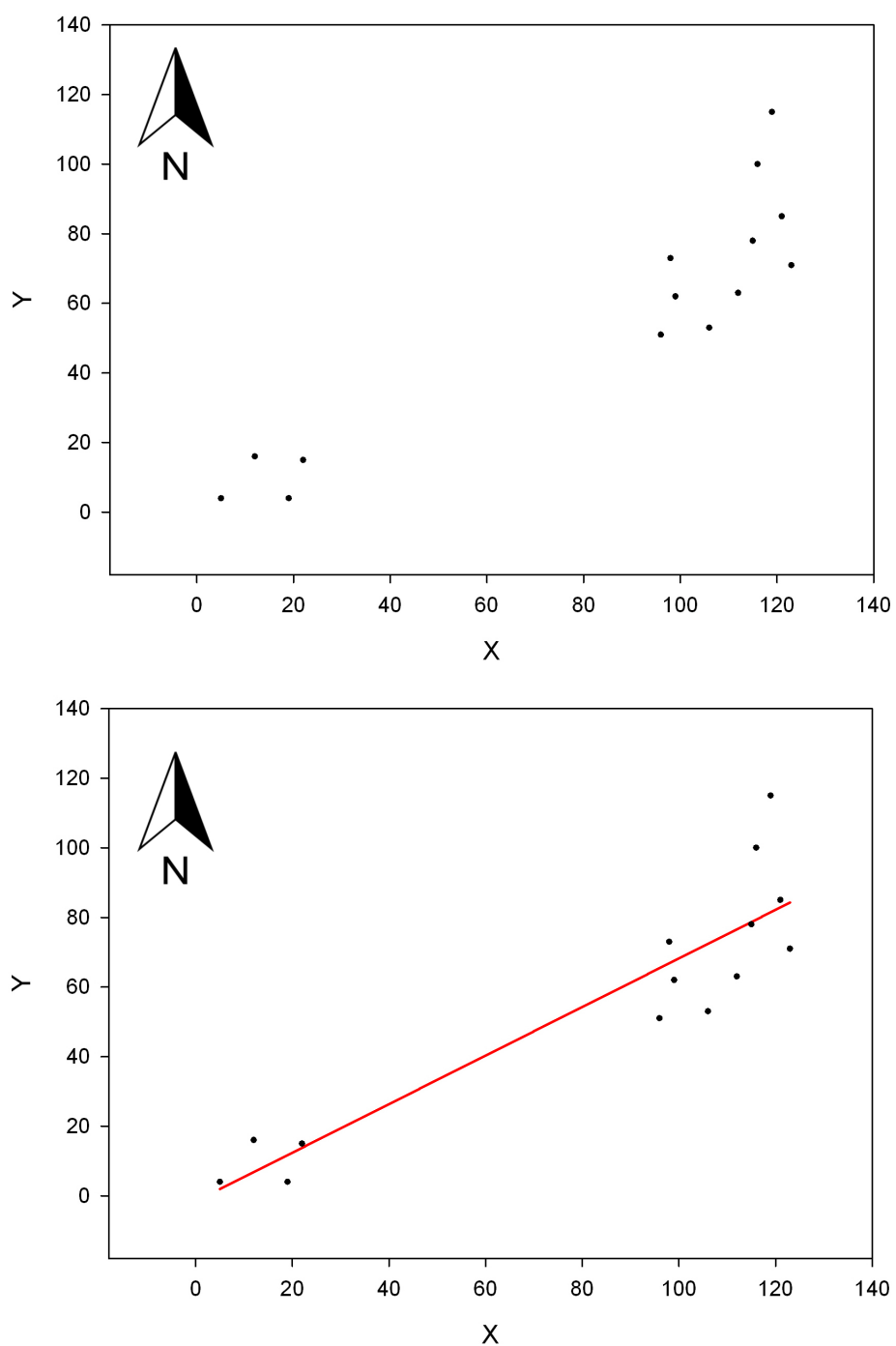
Los primeros hallazgos efectuados en Valtierra se deben al obrero Ismael Gómez Maceda, quien halló restos de algunas incineraciones con fragmentos de piezas de bronce y cerámica. Tras el descubrimiento comunicó el descubrimiento a su patrón, M. Aramendia, quien inmediatamente se dirigió a la Institución Príncipe de Viana.

La necrópolis de la Edad del Hierro se sitúa en la Torraza, que constituye una empinada ladera orientada a poniente, en la orilla izquierda del Ebro y a poco más de 2 kilómetros de su curso actual.

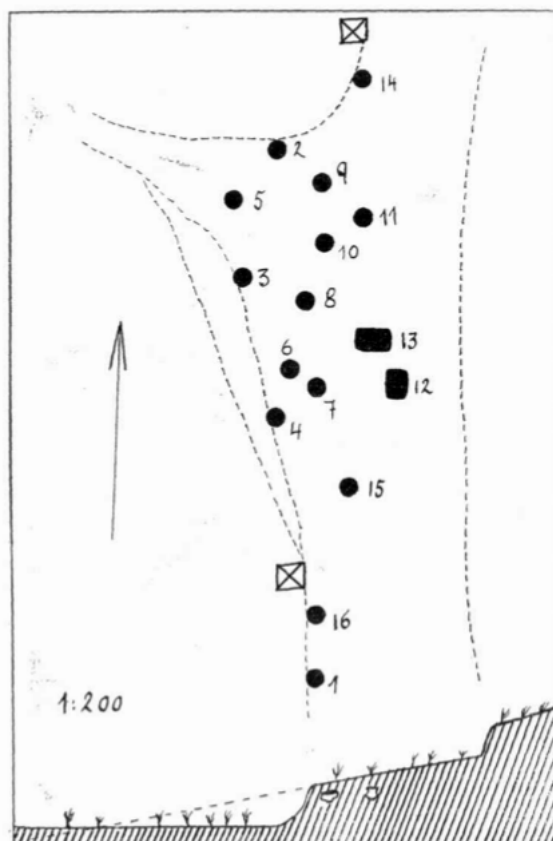
El nombre de la Torraza procede de una alta torre originariamente cuadrangular que se mantiene en ruinas y que ha sido siempre considerada como una torre de vigilancia medieval análoga a otras existentes a lo largo de las Bardenas Reales. En las tumbas de la necrópolis la profundidad de las mismas oscila entre 0'25 y 0'70 metros, en la parte alta de la necrópolis se enterraron las urnas a poca profundidad por la dureza de la tierra.

Tampoco en este caso el número de puntos es demasiado numeroso, la recta de ajuste es de  $r^2 = 0,0874$ , puede verse en la figura 4.48, la recta de ajuste superpuesta viene determinada por la ecuación  $y = -x + 151$ , los parámetros de la recta de regresión son  $a = -1 \pm 1$  para la pendiente y  $b = 150 \pm 40$  para la ordenada en el

## Necrópolis de Les Obagues



**Figura 4.46:** Distribución espacial de la necrópolis de Les Obagues en coordenadas relativas (x,y), junto con la recta de ajuste por mínimos cuadrados.



**Figura 4.47:** Plano de las tumbas de la necrópolis de La Torraza. (Ruíz Zapatero, 1999)

origen. Aplicando el programa angrect.m, aparece un valor para el acimut de  $139^{\circ} 27'$ .

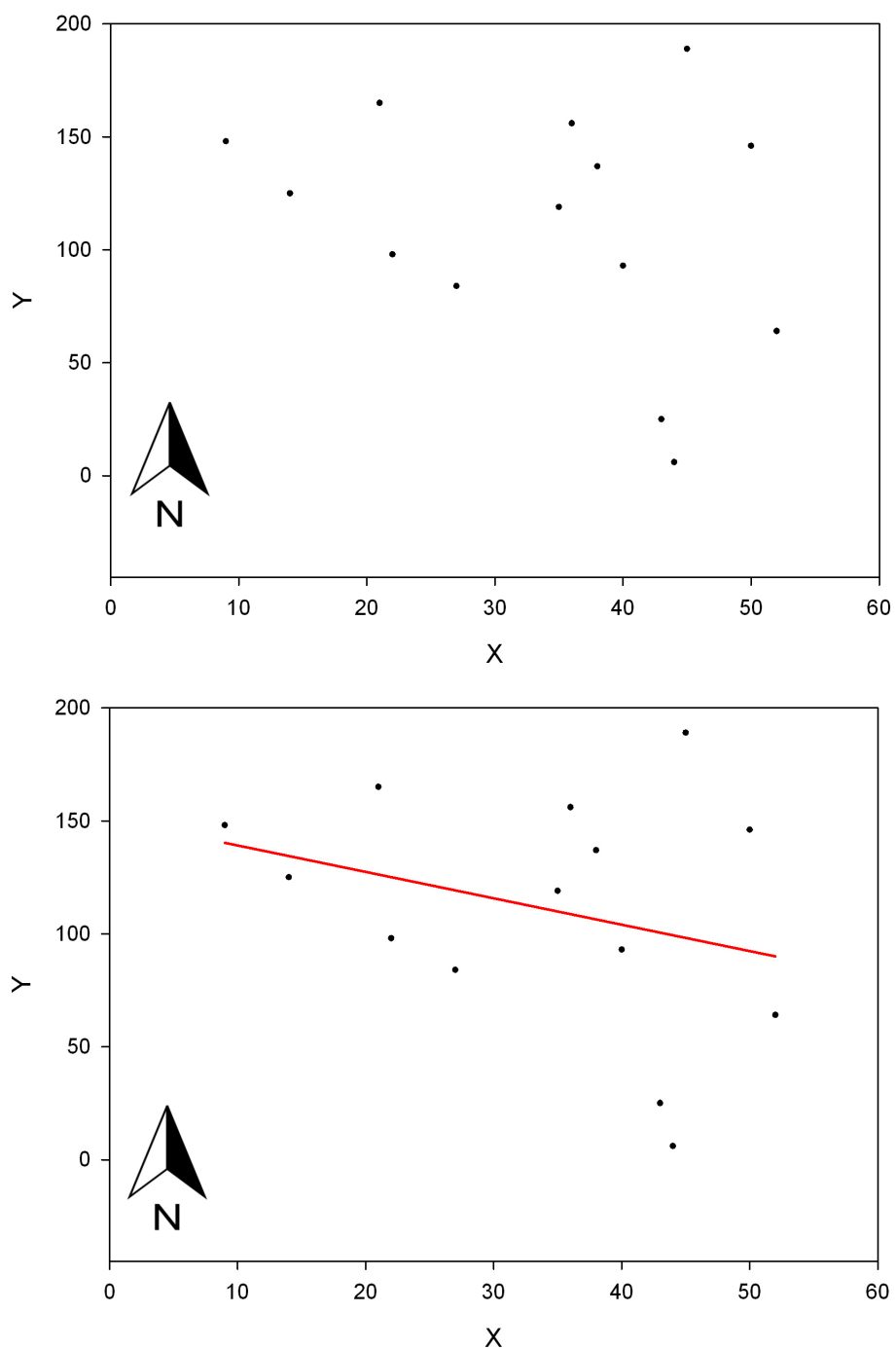
### Necrópolis de La Colomina

La necrópolis tumular de incineración de La Colomina está situada en el término municipal de Gerb dependiente de d'Os de Balaguer en la comarca de la Noguera. Según Ferrández y otros (1991) su localización exacta corresponde con las coordenadas  $41^{\circ} 49' 42''$  N y  $4^{\circ} 29' 40''$  E. Respecto a Gerb se encuentra a 450 metros al norte de su centro urbano y a 4 kilómetros de la capital de la comarca, Balaguer.

La necrópolis se sitúa en el margen derecho del río Segre a 1500 metros de su cauce y a una altura sobre el nivel del mar de entre 243-245 metros aproximadamente. Esta necrópolis es conocida también como Colomina 1 ya que está asociada a la zona de habitación que se encontró posteriormente en 1987, Colomina 2. La zona de



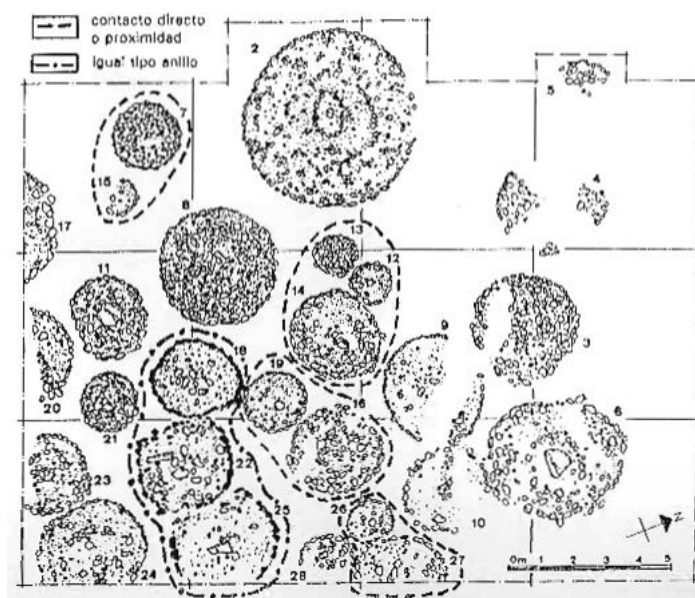
## Necrópolis de la Torraza



**Figura 4.48:** Distribución espacial de la necrópolis de La Torraza en coordenadas relativas (x,y), junto con la recta de ajuste por mínimos cuadrados.



poblamiento se encuentra en una zona ligeramente superior a la necrópolis siendo su distribución espacial condicionada enteramente por la orografía del terreno.

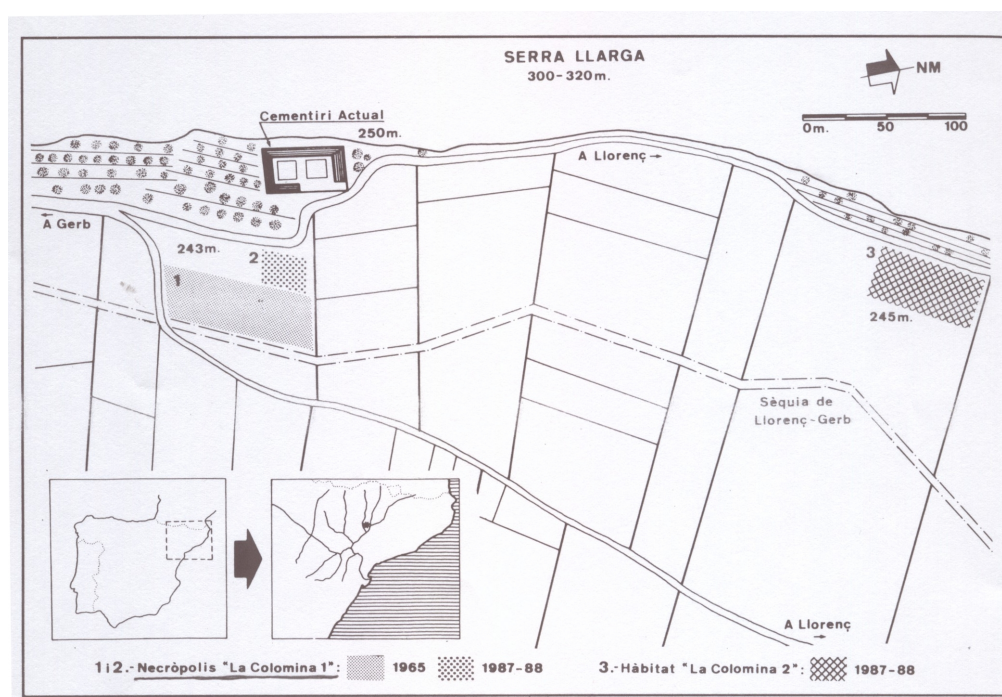


**Figura 4.49:** Plano de las tumbas de la necrópolis de La Colomina (Colomina 1). (Ferrández y otros, 1991)

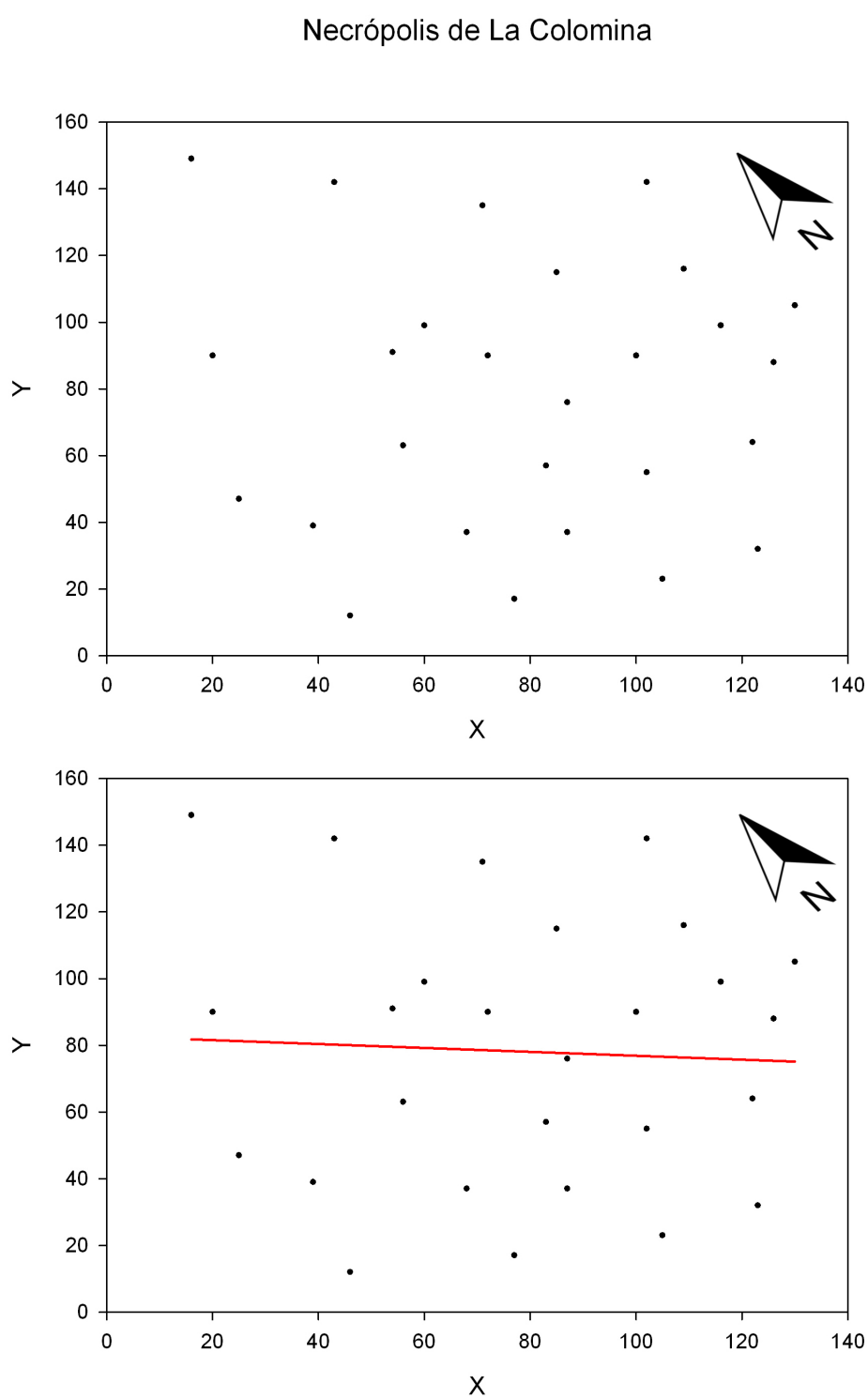
Su descubrimiento fue casual en Febrero de 1965 como consecuencia de unos trabajos agrícolas. Tras comunicarlo al Institut d'Estudis Ilerdencs se comenzaron con los trabajos de recogida de material arqueológico y de salvamento resultando una necrópolis, parcialmente destruida, de aproximadamente  $3500 \text{ m}^2$  de extensión cuyos límites pueden verse en la figura 4.50. Estos trabajos fueron realizados por la sección de arqueología del anteriormente citado Instituto, teniendo como responsables a Luís Díez-Coronel, Rodrigo Pita y Pedro Gutiérrez del Amo. En estos trabajos se encontraron un total de 16 enterramientos con 33 urnas, 17 de las cuales fueron encontradas de forma descontextualizada debido a los trabajos de maquinaria agrícola.

Como se puede comprobar en el mapa 4.49 el número de enterramientos no es excesivamente elevado, sin embargo, decidimos incluir el estudio del yacimiento en el trabajo.

En el caso de esta necrópolis el número de puntos es algo mayor que las dos anteriores, sin embargo la recta de ajuste no mejora mucho siendo  $r^2 = 0,024$ , puede verse en la figura 4.51, la recta de ajuste superpuesta viene determinada por la ecua-



**Figura 4.50:** Mapa de ubicación de las zonas Colomina 1 (necrópolis) y Colomina 2 (poblado). (Ferrández y otros, 1991).

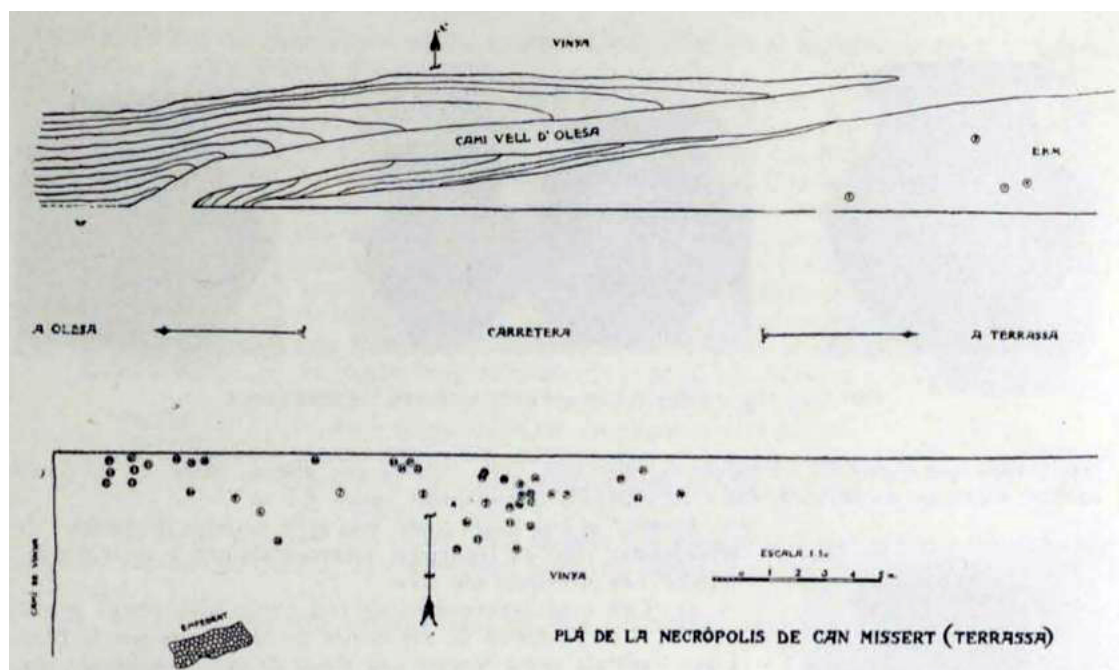


**Figura 4.51:** Distribución espacial de la necrópolis de La Colomina en coordenadas relativas ( $x,y$ ), junto con la recta de ajuste por mínimos cuadrados.

ción  $y = -0,1x + 83$ , los parámetros de la recta de regresión son  $a = -0,1 \pm 0,2$  para la pendiente y  $b = 83 \pm 20$  para la ordenada en el origen. Aplicando el programa angrect.m, aparece un valor para el acimut de  $123^\circ 23'$ .

### Necrópolis de Can Missert

La necrópolis de Can Missert es una de las necrópolis que desde hace más tiempo se conocen en Cataluña. Se conoce desde los primeros años del siglo XX cuando se descubrió por medio de la noticia que dio el dueño de los terrenos donde se encuentran las tumbas de incineración, J. Barata. Fueron recogidos algunos materiales en la zona por parte de J. Soler i Palet como refleja su discurso de entrada en la Real Academia de las Buenas Letras el 17 de Junio de 1906. Sin embargo, no se empiezan los trabajos de excavación hasta que se hacen cargo en 1916 Bosch i Gimpera y Colominas i Roca. Según el trabajo original de Bosch y Colomina (Bosch y Colominas, 1923), en la primera excavación se encontraron 48 urnas intactas, de las cuales, 4 se encontraron en el lado Norte de la carretera Olesa-Terrasa y el resto en el lado Sur de la misma carretera. Sin duda, la carretera destruyó la mayor parte de los enterramientos antes de haberse comenzado los trabajos de excavación sistemática.



**Figura 4.52:** Plano de las urnas encontradas en 1916 en la necrópolis de Can Missert. Bosch y Colominas (1923).

A pesar de que hay bastante controversia al respecto (Petit~i Mendizabal, 1989), las fases de ocupación pueden dividirse en cuatro:

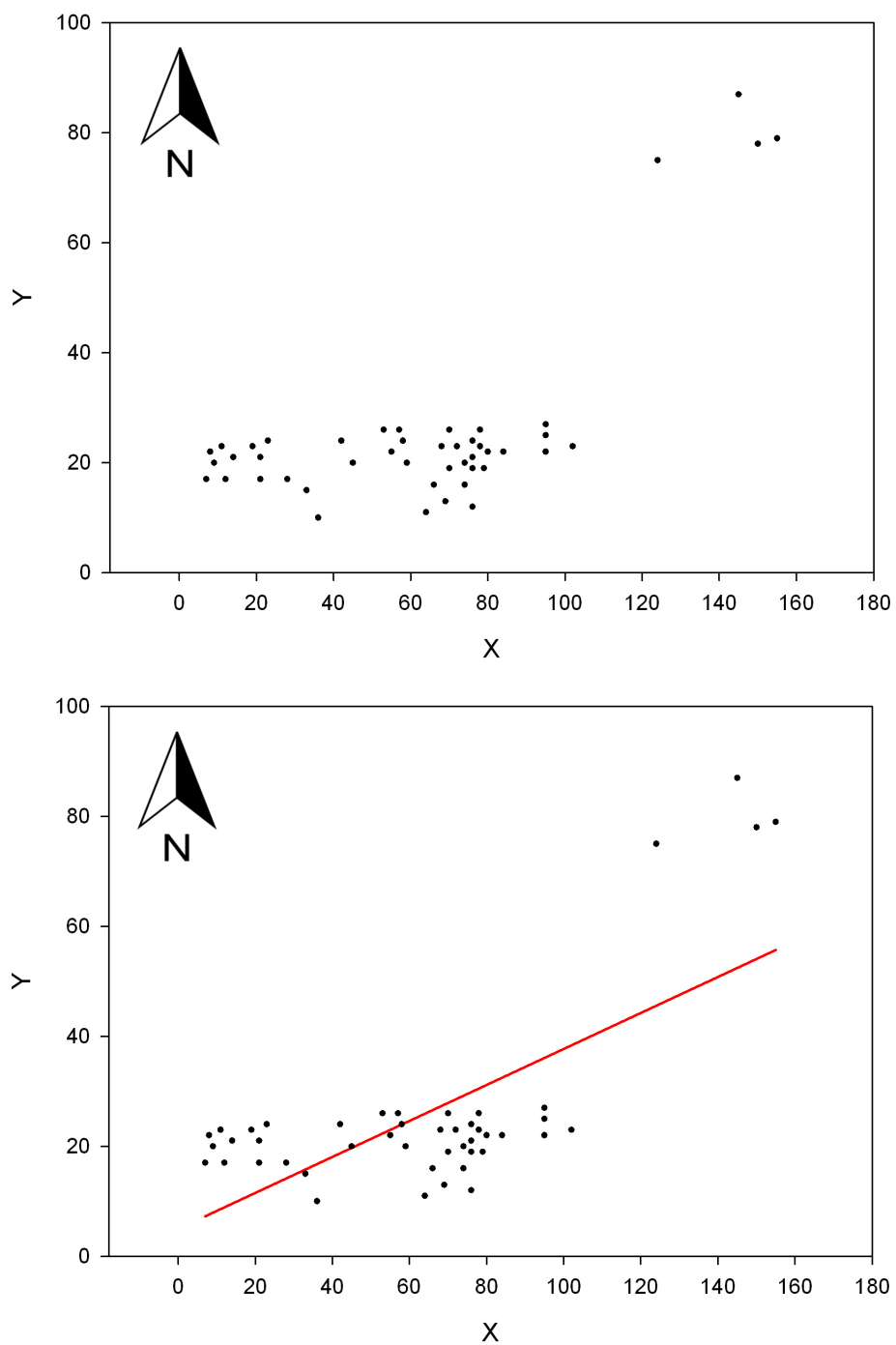
- Can Missert I. La más antigua y con menos enterramientos. Corresponde con la presencia más antigua de Campos de urnas en Cataluña. Se presentan urnas bitruncocónicas, de cuello abombado y bordes convexos.
- Can Missert II. Corresponde con los campos de urnas recientes de Cataluña, se caracteriza por la presencia de urnas tipo Sassenay. En la necrópolis solamente pertenecen a este periodo unas pocos enterramientos.
- Can Missert III. Representa la fase de campos de urnas recientes del Bronce final III A. Las urnas son de cuerpo globular, cuello troncocónico y borde de codo decoradas con bandas de acanalamiento horizontales y grecas.
- Can Missert IV. La última fase correspondiente al Bronce final III B se representa por el hallazgo de urnas sin cuello, borde recto-abierto y cuerpo globular con tendencia a marcar una carena.

En este caso la recta de ajuste mejora con un  $r^2 = 0,482$ , puede verse en la figura 4.53, la recta de ajuste superpuesta viene determinada por la ecuación  $y = 0,33x + 5$ , los parámetros de la recta de regresión son  $a = 0,33 \pm 0,05$  para la pendiente y  $b = 5 \pm 4$  para la ordenada en el origen. Aplicando el programa angrect.m, aparece un valor para el acimut de  $71^\circ 52'$ .

### Necrópolis de Can Bec de Baix-Agullana

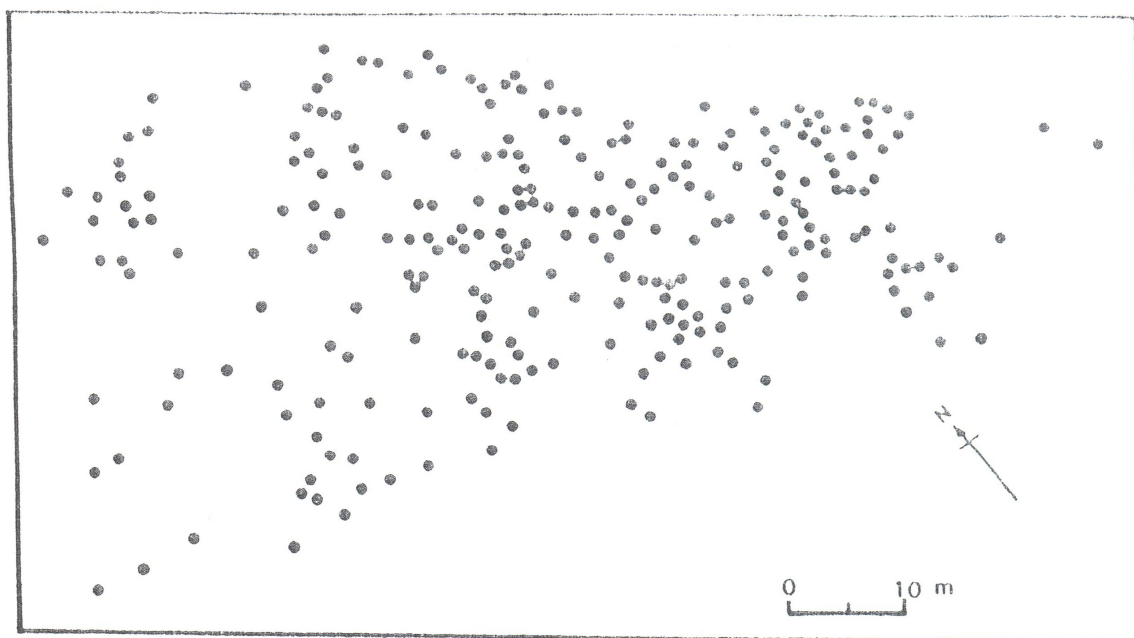
La situación de la necrópolis de Can Bec de Baix está ligada a la carretera de Agullana a La Bajol. Los primeros restos de la necrópolis se hallaron en los trabajos de dicha carretera provincial y, si bien los primeros hallazgos se dataron como de la Edad Media en 1924, llevaron a Miguel de Palol (de Palol, 1927) a encontrar los restos de la necrópolis de campos de urnas. Como aparece en Ruiz (2001) y de Palol (1958), esta necrópolis está situada al pie de los Pirineos orientales, a la salida de los pasos naturales de Coll de les Illes y Portell. Al oeste tenemos el Coll de Lli o de las Illes, a 771 m sobre el nivel del mar. Al este se sitúa el Coll del Portell a 697 metros sobre el nivel del mar. La altura a la que se encuentra el emplazamiento permite el control geográfico de toda la zona, en particular la ladera española del

## Necrópolis de Can Missert



**Figura 4.53:** Distribución espacial de la necrópolis de Can Missert en coordenadas relativas (x,y), junto con la recta de ajuste por mínimos cuadrados.

Pirineo oriental y la llanura del Alto Ampurdán. Se hallaron 228 tumbas divididas en 3 fases de enterramiento:

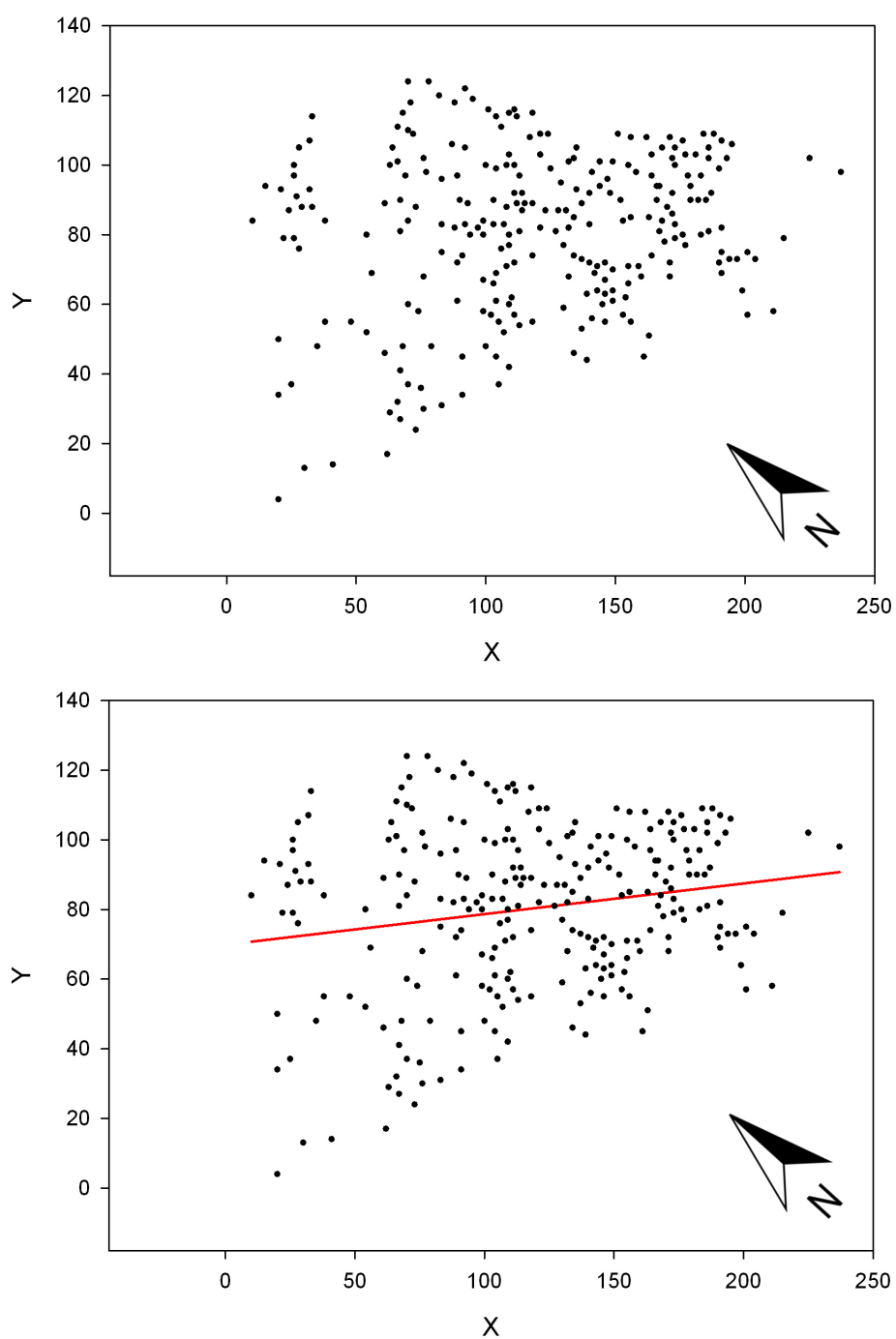


**Figura 4.54:** Plano de la necrópolis de Agullana. (Ruíz Zapatero, 1999)

- Agullana I (c. 850-800 a.C.). En este periodo el uso de la necrópolis, habiéndose encontrado pocos enterramientos y muy sencillos, consiste en enterramientos en urnas bicónicas de altos cuellos con decoración acanalada.
- Agullana II (825/800-675-650 a.C.). Se trata del grueso de los enterramientos. En este caso aparecen urnas bicónicas y ovoides.
- Agullana III (675/650-600 a. C.). De nuevo el número de enterramientos decae en este período y como se demuestra con los materiales encontrados es la época donde comienza la introducción de la Edad de Hierro.

El mapa de la necrópolis es muy completo, con gran cantidad de puntos pero muy dispersos como refleja el cuadrado del parámetro de regresión lineal,  $r^2 = 0,349$ , puede verse en la figura 4.55, la recta de ajuste superpuesta viene determinada por la ecuación  $y = 0,09x + 70$ , los parámetros de la recta de regresión son  $a = 0,09 \pm 0,03$  para la pendiente y  $b = 70 \pm 4$  para la ordenada en el origen. Aplicando el programa angrect.m, aparece un valor para el acimut de  $57^\circ 37'$ .

## Necrópolis de Agullana

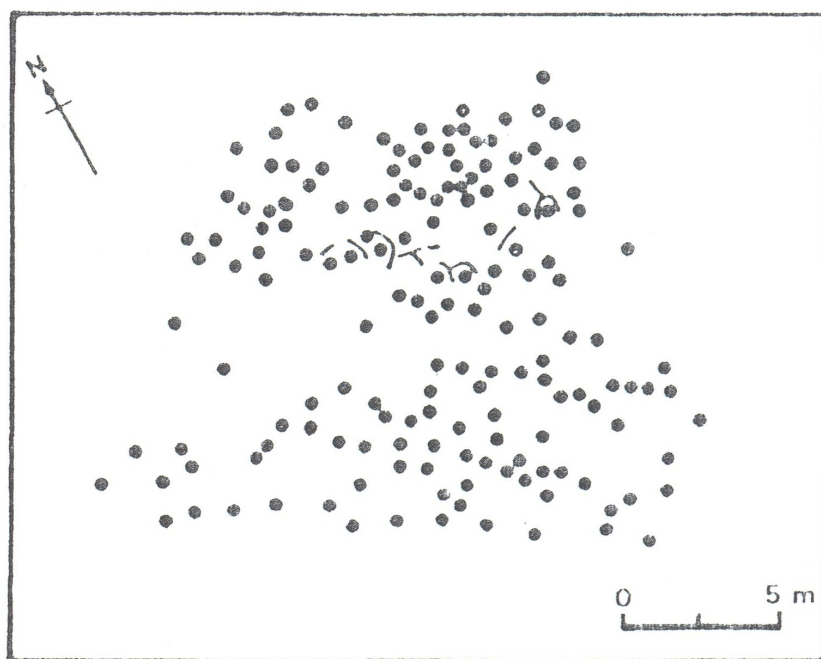


**Figura 4.55:** Distribución espacial de la necrópolis de Can Bec de Baix-Agullana en coordenadas relativas ( $x,y$ ), junto con la recta de ajuste por mínimos cuadrados.



### Necrópolis de El Molar

El pueblo de Molá -también llamado Molar o Molar d'en Bas- se encuentra a 228 metros sobre el nivel del mar, en un llano largo y estrecho. El conjunto del término municipal tiene una extensión de 22,85 Km<sup>2</sup>. Se extiende a la derecha del río Siurana, antes de su desembocadura en el Ebro, dentro del término vecino de García, del cual fue parte hasta la mitad del siglo XIX. El descubrimiento de la necrópolis fue realizado por Salvador Vilaseca (Vilaseca, 1943) a partir de las noticias aportadas por el oriundo José María Castellvi en 1930. Una vez conocida la ubicación de la necrópolis muchos vecinos de Molá fueron afectados por una especie de "fiebre del oro" y subieron a la zona donde se ubican las tumbas. Se dedicaron a excavar con el fin de encontrar algún tesoro hasta la intervención de la Guardia Civil que custodió el recinto hasta el comienzo de las excavaciones metódicas y oficiales.



**Figura 4.56:** Plano de la necrópolis de El Molar. (Ruíz Zapatero, 1999)

La necrópolis estaba formada por un total de 172 urnas, que fueron excavadas en su totalidad. Se sitúa en la falda suroeste del cerro del Calvari, propiedad de tres habitantes del municipio (Castellvi, Bargalló y Escoda). Por el Este limita con una cañada que atraviesa la cumbre del Calvari, por el Sur se encuentra a unos 100 metros del antiguo camino de la fuente de Reguerals. La necrópolis tiene una forma

aproximadamente trapezoidal con una base inferior de unos 20 metros, altura de 16 metros y una base superior de 11 metros.

El mapa de la necrópolis es muy completo, con gran cantidad de puntos pero muy dispersos como refleja el cuadrado del parámetro de regresión lineal,  $r^2 = 0,00298$ , puede verse en la figura 4.57, la recta de ajuste superpuesta viene determinada por la ecuación  $y = 0,05x + 99$ , los parámetros de la recta de regresión son  $a = -0,05 \pm 0,07$  para la pendiente y  $b = 99 \pm 12$  para la ordenada en el origen. Aplicando el programa angrect.m resulta un valor para el acimut de  $124^\circ 51'$ .

### Necrópolis celtibéricas de La Mercadera y Numancia

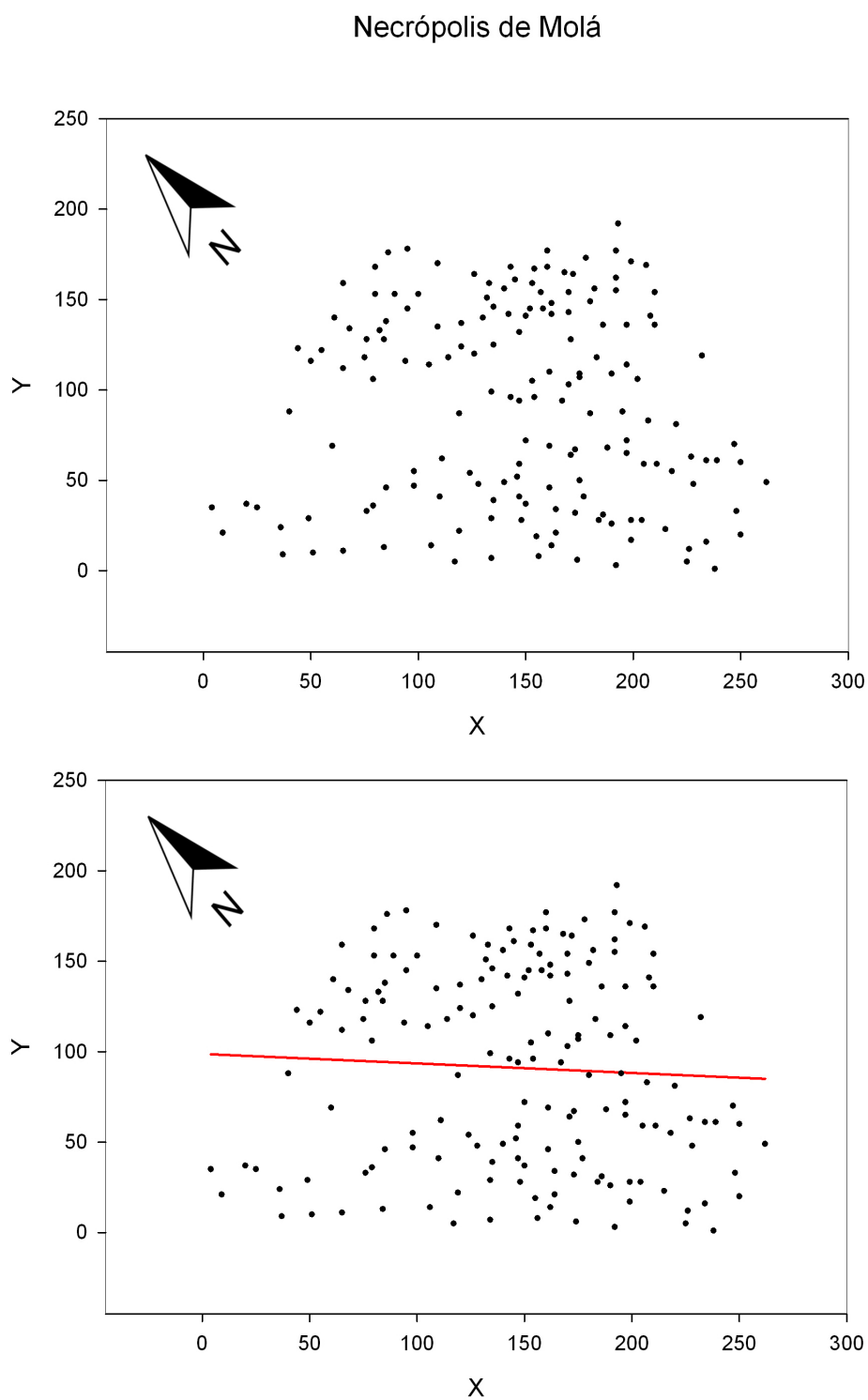
Previamente se ha comentado brevemente la historia y características de estos dos sitios arqueológicos. Aquí solamente describiremos los resultados del estudio como se ha venido realizando con el resto de necrópolis.

El mapa de la necrópolis de La Mercadera y su recta de ajuste resulta un cuadrado del parámetro de regresión lineal,  $r^2 = 0,0477$ , puede verse en la figura 4.59, la recta de ajuste superpuesta viene determinada por la ecuación  $y = -0,20x + 99$ , los parámetros de la recta de regresión son  $a = -0,20 \pm 0,08$  para la pendiente y  $b = 99 \pm 7$  para la ordenada en el origen. El programa angrect.m arroja un valor para el acimut de  $177^\circ 44'$ .

El caso de Numancia es, quizás, el más completo, con un número muy alto de puntos aunque muy dispersos como refleja el cuadrado del parámetro de regresión lineal,  $r^2 = 0,0697$ , puede verse en la figura 4.58, la recta de ajuste superpuesta viene determinada por la ecuación  $y = 0,17x + 63$ , los parámetros de la recta de regresión son  $a = 0,17 \pm 0,05$  para la pendiente y  $b = 63 \pm 11$  para la ordenada en el origen. El software angrect.m refleja un valor de  $103^\circ 47'$  para el acimut.

#### 4.1.4. Conclusiones

Como decíamos al principio se han tomado como punto de partida el trabajo realizado en la necrópolis de incineración de Herrería y las interesantes conclusiones que arrojó. Según estos trabajos las tumbas de la necrópolis de Herrería estarían dispuestas hacia la dirección que marca la posición lunar en su parada mayor, es decir, en el momento en el que su declinación es mayor, es más visible y pasa el mayor tiempo sobre el horizonte. Con la intención de corroborar si la disposición



**Figura 4.57:** Distribución espacial de la necrópolis de Mola en coordenadas relativas ( $x,y$ ), junto con la recta de ajuste por mínimos cuadrados.

de las tumbas siguió un patrón determinado y, sobre todo, si esa orientación podría ponerse en relación con fenómenos celestes se continuó el estudio detallado con un número mayor de yacimientos. Se tomaron los lugares más representativos, en las provincias de Guadalajara y Soria, entre el conjunto total de yacimientos de este tipo.

| Yacimiento               | Pendiente | Acimut  |
|--------------------------|-----------|---------|
| CAN PITEU-CAN ROQUETA    | -0.20     | 101°32' |
| LES OBAGUES              | 0.70      | 55°5'   |
| LA TORRAZA               | -1.16     | 139°27' |
| LA COLOMINA              | -0.05     | 123°23' |
| CAN MISSERT              | 0.32      | 71°52'  |
| CAN BEC DE BAIX-AGULLANA | 0.09      | 57°37'  |
| MOLÁ                     | -0.05     | 124°51' |
| LA MERCADERA             | -0.19     | 177°44' |
| NUMANCIA                 | 0.17      | 103°47' |

**Tabla 4.5:** *Pendiente y acimut para cada necrópolis*

Por desgracia, en la mayoría de los casos nos encontramos con dificultades metodológicas que han imposibilitado realizar un estudio todo lo exhaustivo que hubiera sido deseable. Entre estos problemas metodológicos se encuentran coordenadas erróneas, inexistencia de material topográfico que muestre la disposición espacial de las tumbas dentro del espacio necropolitano o mala praxis a la hora de realizar este material topográfico. En algunos casos la documentación de los sitios arqueológicos se reduce a la noticia en unas pocas líneas. A pesar de todo ello -además de Herrería- se han podido utilizar las necrópolis de La Mercadera, Numancia, El Molar, Les Obagues, La Torraza, La Colomina, Can Piteu-Can Roqueta, Can Missert y Agullana.

Si comprobamos los valores del acimut para las necrópolis de La Mercadera y Numancia, por ejemplo, en la tabla 4.5 y que son respectivamente 177°44' y 103°47' y los comparamos con los valores de eventos astronómicos de la tabla 4.6 se puede apreciar que no se corresponde con los acimuts de la parada mayor lunar para ninguna de las necrópolis. La diferencia es de unos 122° para La Mercadera y el orto lunar en su parada mayor y de 132° en el ocaso lunar en el mismo evento.

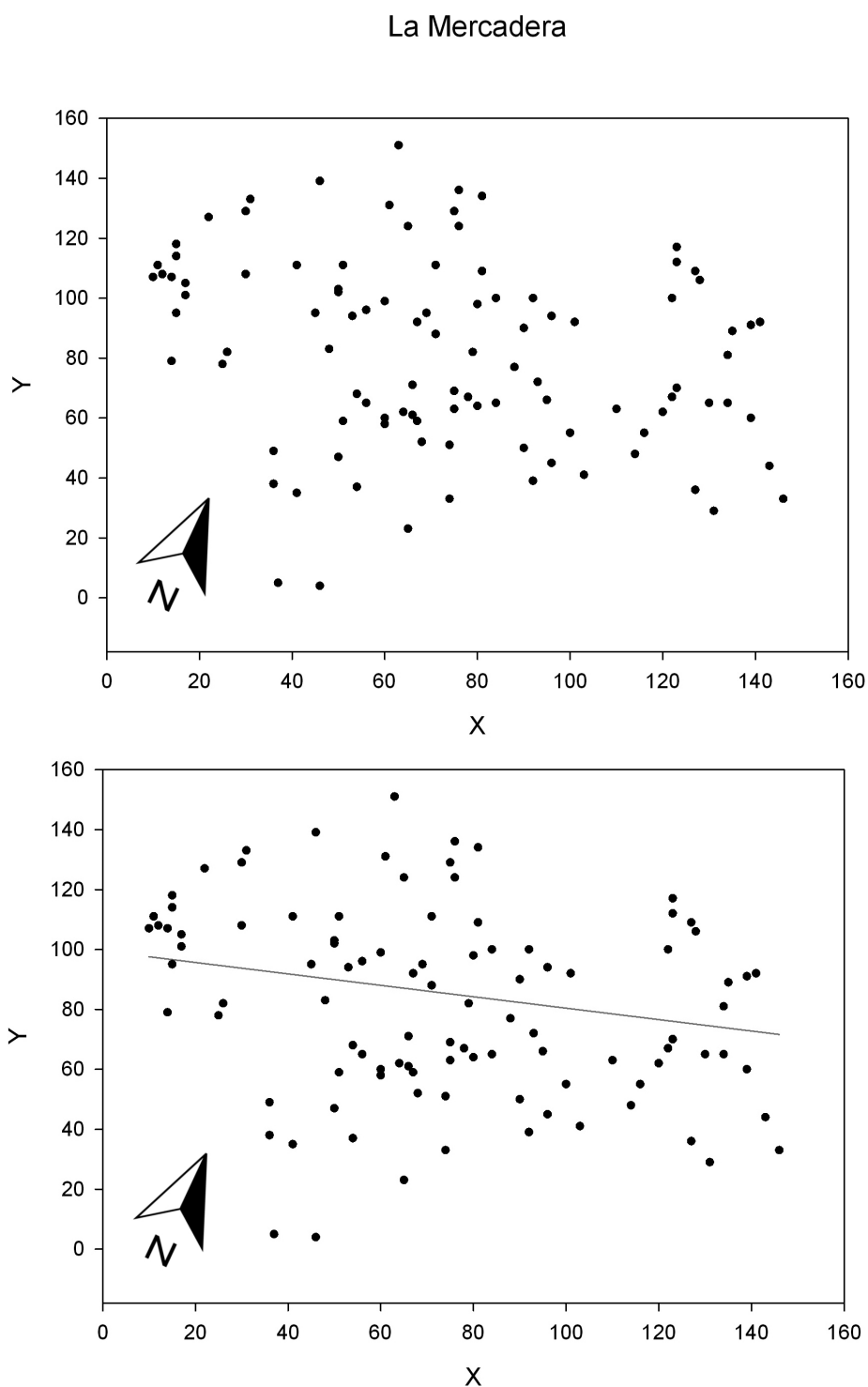
La desviación para la necrópolis de Numancia es de unos  $53^\circ$  en el orto lunar en su parada mayor y de  $259^\circ$  en el ocaso lunar en la parada mayor. Tampoco en los eventos solsticiales, en los que las diferencias son de  $56^\circ$  para el orto en el solsticio de invierno y de  $61^\circ$  aproximadamente en el ocaso, en el caso del solsticio de verano, las diferencias son de  $119^\circ$  y  $124^\circ$  respectivamente en el caso de La Mercadera. En el caso de la necrópolis de Numancia las diferencias correspondientes son:  $18^\circ$ ,  $135^\circ$  en el orto y ocaso del solsticio de invierno y  $45^\circ$  y  $198^\circ$  en el orto y ocaso del solsticio de verano. En todos los casos una desviación muy por encima del error posible que puede ser atribuido al error humano a la hora de orientar los ejes necropolitanos y, por supuesto, de la metodología empleada por los pueblos de la Edad del Hierro o de finales de la Edad del Bronce para orientar y planificar los enterramientos.

Esto ocurre de manera muy parecida en todos los casos menos en las necrópolis de Les Obagues, Agullana, La Colomina y Molá. En las dos primeras aparece un valor del acimut que se encuentra entre los acimuts del orto de la parada mayor lunar y el orto en el solsticio de verano. Ocurre de forma parecida con las necrópolis de La Colomina y Molá, pero en estos casos al orto en el solsticio de invierno. A tenor de los valores de las desviaciones de varios grados entre  $5^\circ$ - $6.5^\circ$  para la parada mayor lunar, entre  $1^\circ$  y  $3^\circ$  para el solsticio de verano y entre  $2^\circ$  y  $3^\circ$  para el solsticio de invierno podría llegar a pensarse que reflejan una orientación hacia estos eventos astronómicos. Sin embargo, los bajísimos coeficientes de correlación y la gran dispersión de las tumbas, junto con la parcialidad que representan los sectores de las necrópolis excavadas, motiva a concluir que se trata de valores fortuitos que no se corresponden con verdaderas orientaciones. Especialmente podemos excluir la orientación a la parada mayor que aparece en Herrería, ya que tenemos desviaciones de más de  $5^\circ$ .

Todo parece indicar que podemos descartar la posibilidad de que las necrópolis de incineración de la Edad del Hierro se encuentren orientadas de forma intencionada hacia la parada mayor lunar, tanto en el ocaso como en el orto en la parada mayor lunar como en los eventos solsticiales solares. Lo mismo ocurre para las necrópolis de finales de la Edad del Bronce en las que no parece que exista ninguna orientación intencionada de la disposición de las tumbas en los recintos necropolitanos ni para eventos lunares como solares.

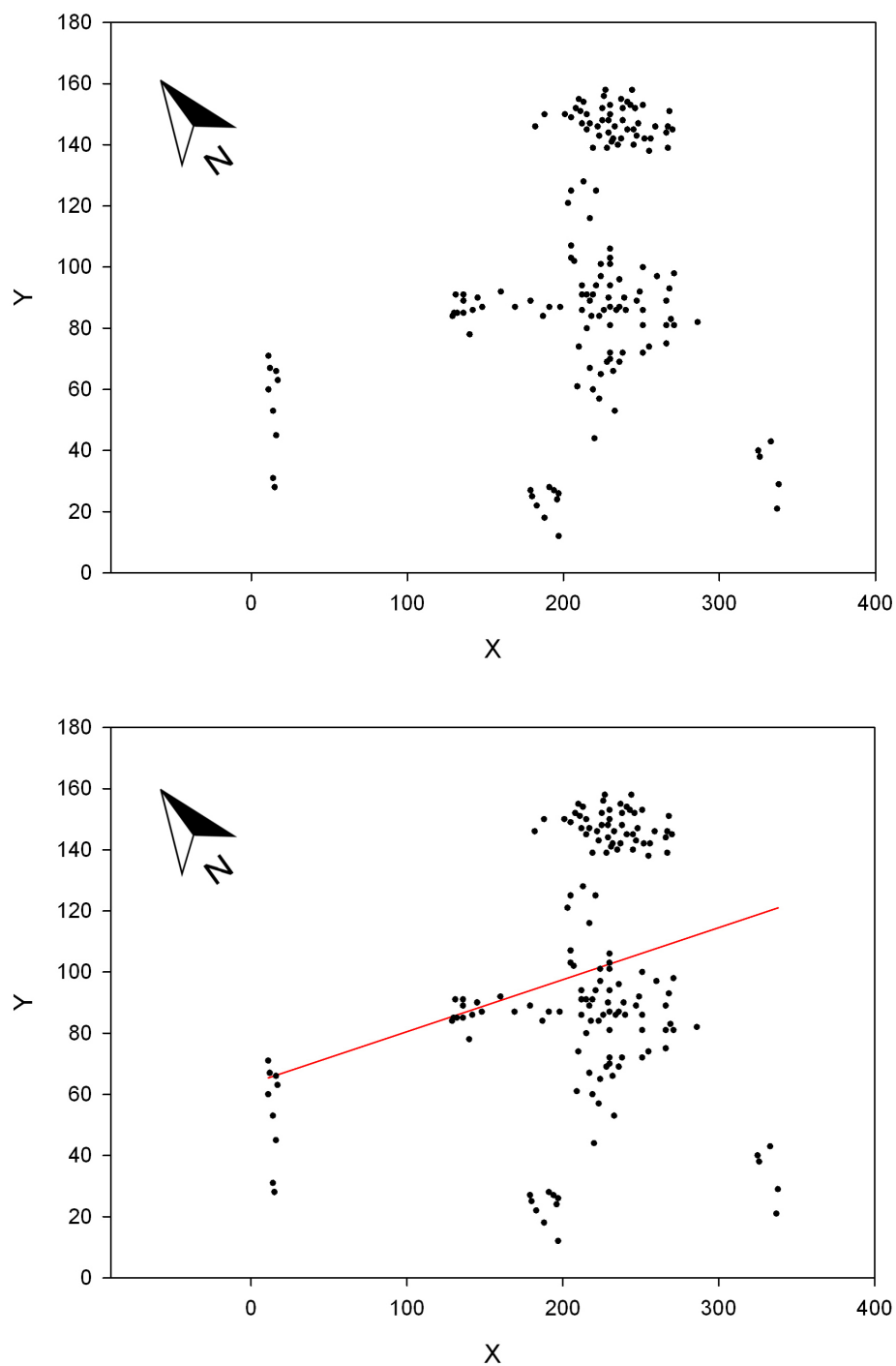
| Evento                | Ángulo      | Orto    | Ocaso   |
|-----------------------|-------------|---------|---------|
| Solsticio de invierno | Acimut      | 121°53' | 238°6'  |
| Solsticio de verano   | Acimut      | 58°6'   | 301°53' |
| Parada mayor lunar    | Acimut      | 50°30'  | 309°30' |
| Parada mayor lunar    | Declinación | 28°42'  | 28°42'  |

**Tabla 4.6:** *Acimut y Declinación para MLSR/S y acimuts para WSSR/S y SSSR/S*



**Figura 4.58:** Distribución espacial de la necrópolis de La Mercadera en coordenadas relativas ( $x,y$ ), junto con la recta de ajuste por mínimos cuadrados.

## Necrópolis de Numancia



**Figura 4.59:** Distribución espacial de la necrópolis de Numancia en coordenadas relativas (x,y), junto con la recta de ajuste por mínimos cuadrados.



## 4.2. Castilmocho: Un posible santuario celtibérico

Habitualmente el papel del conocimiento astronómico de los pueblos celtibéricos en su cultura y de su relevancia en el conjunto de sus creencias, mitología y ritos se ha desdeñado en favor de un punto de vista del guerrero. Probablemente los motivos de ello habría que buscarlos en que el mayor número de textos que nos han llegado han sido sobre temática bélica en su lucha contra el imperio romano.

Por ejemplo, el texto de mayor longitud referido a temática religiosa-astronómica viene referido por Estrabón:

*"... Propio de los iberos y los celtas. Según ciertos autores, los galaicos son ateos, más no así los celtíberos y los otros pueblos que lindan con ellos por el Norte, todos los cuales tienen cierta divinidad innominada a la que en las noches de luna llena, las familias rinden culto danzando hasta el amanecer, ante las puertas de sus casas. Los vettones, que fueron los primeros que compartieron con los romanos la vida de campamento, viendo una vez a ciertos centuriones ir y venir en la guardia, paseándose, creyeron que se habían vuelto locos y quisieron llevárselos a sus tiendas, pues no concebían otra actitud que la de estar sentados o combatir". (Estrabón 3, 4, 16)*

Apiano también comenta el combate que tuvieron los vacceos de Pallantia contra Emilio Lépidio.

*"Al prolongarse el asedio de Pallantia, comenzaron a faltar alimentos a los romanos y el hambre hizo presa en ellos, todos sus animales de carga perecieron y muchos hombres empezaron a morir de necesidad. Los generales Emilio y Bruto resistieron con paciencia durante mucho tiempo, pero, vencidos por la mala situación, dieron la orden de retirarse, de manera repentina, una noche alrededor de la última guardia. Los tribunos militares y los centuriones corrían de un lado a otro apremiando a todos a hacer esto antes del amanecer. Y ellos, en medio del tumulto, lo abandonaron todo, incluso los heridos y enfermos que se abrazaban a ellos y les suplicaban que no los abandonasen. Como la retirada se hizo de forma confusa y desordenada y muy semejante a una huida, los habitantes de Pallantia atacando desde todos los lugares les causaron muchas heridas desde el amanecer hasta la tarde. Cuando llegó la noche, los romanos, hambrientos y exhaustos, se dejaron caer en el suelo agrupados, según cayó cada uno, y los de Pallantia se retiraron gracias a una intervención de la divinidad. Y esto fue lo que ocurrió a Emilio." (Apiano, VI, XIII, 82)*

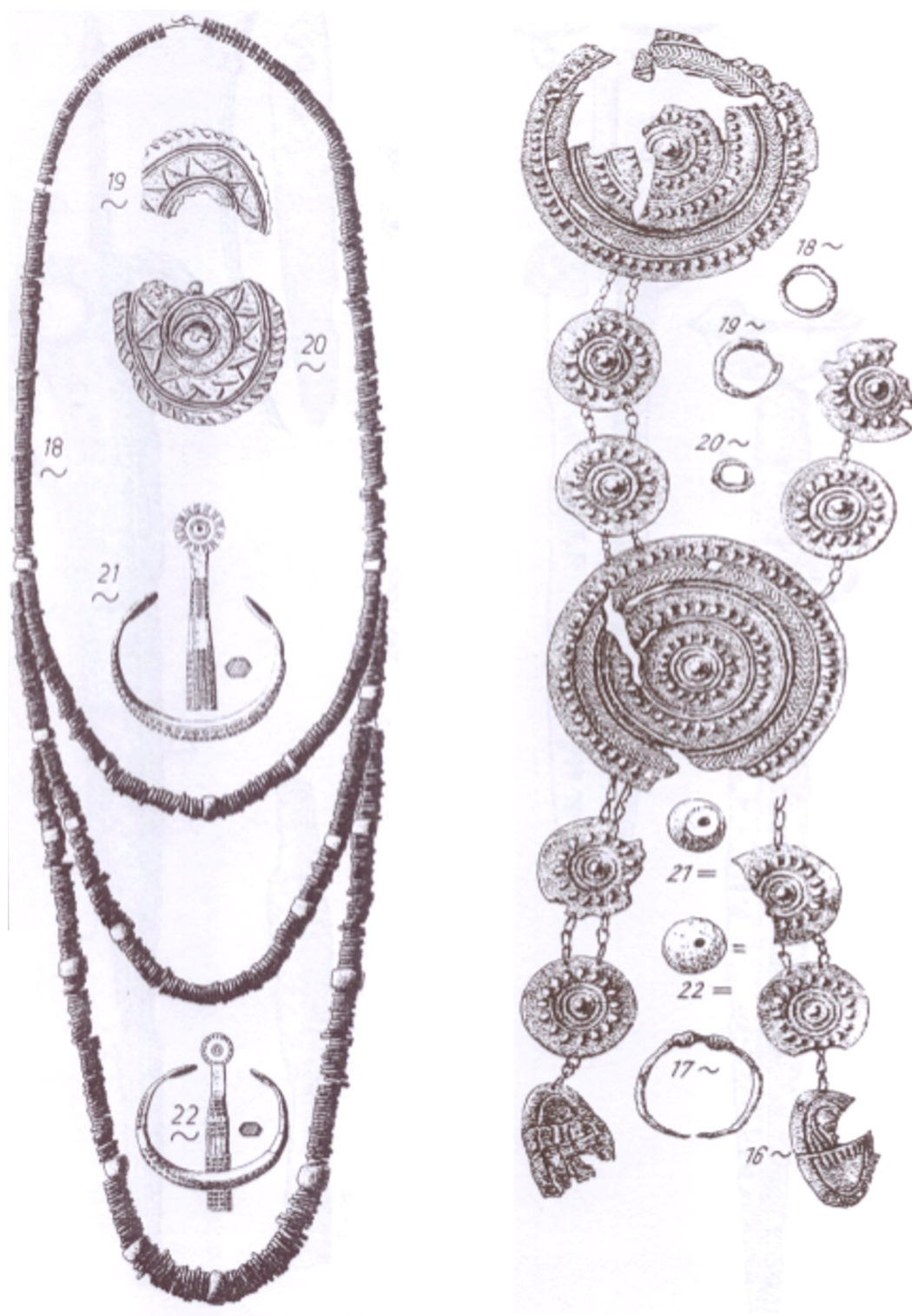
Este lance se ha interpretado casi unánimemente por los investigadores como un eclipse de sol y que los vacceos interpretaron como una señal de una divinidad

lunar que tendría relación con la que cita Estrabón y la que no tendría nombre porque sería tabú su nombramiento.

Si bien las fuentes son exiguas, existen otras pruebas de que las divinidades celestes o la observación de los fenómenos que llegaron del cielo en la cultura celtibérica tuvo que ser muy relevante. Ejemplo de ello es la cultura material que se puede apreciar, tan solo como muestra podemos ver las figuras 4.60, 4.61 y 4.1.

Sin intentar realizar aquí un estudio intensivo de la religión celta ni celtibérica, es interesante sentar unas bases de lo que pudo ser para entender mejor lo que se comenta posteriormente. Para comenzar podemos realizar un paralelismo con otros pueblos célticos europeos, ya que es en los ámbitos religioso e ideológico es donde se pueden observar mayores afinidades de los celtíberos con los demás pueblos celtas europeos (Cerdeño, 1999).

La religión celtibérica tiene unas altas dosis de sincretismo con la que se practicaba en toda la Europa céltica, y posee, por ello, algunos rasgos universales compartidos con ella. Este es el caso de Lug, principal divinidad pan-céltica y de marcado carácter solar en Irlanda y Germania y que aparece epigráficamente en Francia, Alemania y Suiza y su culto se ha constatado en el noroeste peninsular, como atestiguan diversos teónimos e incluso -comenta García Quintela- un santuario nativo a este dios podría la base de la fundación de la ciudad de Lucus Augusti (García Quintela, 2003).



**Figura 4.60:** Registro material celtibérico con posible interpretación astronómica. (Schüle, 1969) (Lámina 141/5)



**Figura 4.61:** Dibujo y fotografía de placa doble articulada de bronce con motivos astronómicos (*Archivo Cabré IPH Número:1521*) (Lorrio y Sánchez de Prado, 2009, pág. 406)

También se ha constatado en el norte de Burgos y en una inscripción cántabra en el castro de Peña Amaya. Sin embargo parece claro que su culto se centró en la celtiberia donde aparece epigráficamente en los santuarios celtibéricos de Peñalba de Villastar en Teruel y Uxama en Soria.

Otro caso muy característico del mundo religioso céltico son las Matres y cuyo culto se centró muy especialmente en la celtiberia. Estas deidades representaban la maternidad y la fecundidad en sentido amplio. Tenían un carácter trinitario y entre sus epítetos aparecen Brigantia (o Bricta) que se ha venido traduciendo como "la luminosa" o "la muy alta" y que ha dado lugar a numerosos topónimos en las zonas de cultura céltica (Brigantium, Bregenz, ...) (Cerdeño, 1999; Sopeña, 1987). Estos epítetos bien podrían referirse a un astro y en especial a una identificación con la luna como ocurre con la virgen María en la religión cristiana.

Epona es otra de las deidades femeninas que son más representativas de la celtiberia, como atestigua su aparición en un grabado en Sigüenza, en el que aparece como diosa protectora de los muertos y que siempre viene representada en vinculación con caballos. Un análisis más detallado puede verse en (Sopeña, 1987, 43-45).

Los grandes dioses de la céltica (Lug, Matres y Epona), pueden clasificarse como divinidades de carácter astral y divinidades secundarias, vinculadas a accidentes naturales (Salinas de Frias, 1985, 303-ss.). No parecen divisiones excluyentes y, quizás el carácter astronómico de las diferentes divinidades fue característica común aunque no única.

Ello nos lleva a los lugares donde se desarrollaban estas creencias, los llamados santuarios. Existen varias definiciones de lo que es un santuario y nos parece acertado comentar algunas de las que recoge Alfayé en su magnífico trabajo "Santuarios y Rituales en la Hispania Céltica" (Alfayé, 2009, pp. 16-18). Glinister define santuario como:

*"(...) el lugar donde los pueblos llevaron a cabo sus rituales: sacrificios, oraciones y ofrendas votivas. Algunos santuarios, además, cumplían el papel de lugares de encuentro, comercio, centros políticos, etcétera. Los santuarios aparecieron en gran variedad y un amplio abanico de formas a los que damos múltiples nombres atendiendo a su ubicación y tipo: urbano, extraurbano, extramuros, rural, ... (...) Parece no existir una verdadera distinción entre lugares sagrados dentro del mundo natural y su manifestación física arquitectónica. Lo realmente importante fue el lugar en si mismo, identificado por los seres humanos como un punto o lugar de reunión entre las esferas humana y divina."* (Glinister, 1997)

Otra definición de santuario nos la proporciona F. Marco:

*"El santuario es el espacio, marcado por un límite, que pertenece a la divinidad: todo lo que en ese espacio existe está consagrado a los dioses. (...) un santuario es un espacio circunscrito en el que lo ordinario deviene en significativo por el mero hecho de suceder allí."*

(...) Desde esta perspectiva, podría considerarse que es el emplazamiento la categoría que marca el carácter sagrado de un determinado elemento o de una determinada acción, y que lo que llamamos sagrado o profano sean, más que sustantivos, situacionales" (Marco, 1996)

Para Glinister no existe diferencia entre los espacios sagrados expresados dentro de ambientes naturales (bosque, cueva, montaña, etcétera) como los que se expresan por medio de una edificación. Así debe entenderse para la cultura celtibérica que situaba sus lugares de culto en el medio natural ya fueran peñas, elevaciones rocosas, montañas, surgencias de agua, árboles u otros elementos naturales, así lo corroboran las fuentes: Prudencio, Contra Simaco 2, 1010-1011 y Martín Dumien-se, De correct. rust. XVI. Particularmente en la celtiberia lo atestigua Marcial con las abruptas cimas del monte Vadaverón (sacrum Vadaveronem montibus), cerca de Numancia (Marcial, Epigramas I, 49, 5-6) o el encinar sagrado de Buradón (sanctum Buradonis ilicetum) (Marcial, Epigramas IV, 55, 23).

La importancia de su ubicación parece innegable, puesto que los celtiberos tenían una relación animista con la naturaleza. El uso del paisaje para la ubicación de santuarios es más que notoria en cualquier lugar de carácter simbólico al que nos refiramos. Así, si se quería entablar una conexión con una deidad que tuviera relación con el viento, se colocaba el santuario en un lugar ventoso y si se quería entablar esa conexión espiritual con una deidad celeste -solar, lunar o de otro tipo- se debía colocar en un lugar que tuviera una vista privilegiada del cielo.

En particular, y para el caso que nos ocupa, está sobradamente atestiguado que tanto las montañas y peñascos -como hemos visto en Marcial- como los manantiales o surgencias de agua son puntos privilegiados para que se produzca la comunicación con las deidades. Aún mayores ejemplos de ello podemos encontrarlos en (Alfayé, 2009, Capítulo 3), en donde recoge una cita de Séneca que da idea de la importancia en la antigüedad del paisaje en donde se ubicaban los santuarios y la relación entre el paisaje, espiritualidad y simbolismo.

*"Si se te ofrece a la vista una floresta abundante en árboles vetustos de altura excepcional, y que dificulta la contemplación del cielo por la espesura de las ramas que se cubren unas a otras, la magnitud de aquella selva, la soledad del paraje y la maravillosa impresión de la sombra tan densa y continua en pleno campo despertarán en ti la creencia en una divinidad. Si una gruta excavada hasta lo hondo de las rocas deja como colgando a un monte, no por factura humana, sino minada en tan vasta amplitud por causas naturales, suscitará en tu alma un cierto sentimiento de religiosidad. Las fuentes de los grandes ríos las veneramos. A*



*la súbita aparición de un inmenso caudal de las entrañas de la tierra se dedican altares; se veneran los manantiales de aguas termales, ya a ciertos estanques la obscuridad o inmensa profundidad de sus aguas los hizo sagrados” (Séneca, Epistulae morales ad Lucilium, 4, 41, 3.)*

El ejemplo paradigmático, por ser el mejor conocido, es el del santuario celtibérico de Peñalba de Villastar, en la provincia de Teruel. Se trata de una formación rocosa singular -un gran farallón de más de kilómetro y medio de longitud- a más de 1.000 metros de altura (figura 4.62), a cuyo pie corre el río Turia. Su importancia reside en la treintena de inscripciones paleohispánicas y latinas y, en particular, las dos que hacen referencia al dios céltico Lug. Para conocer más sobre este yacimiento es interesante comenzar por el texto “La montaña escrita de Peñalba” de Juan Cabré (Cabré, 1910) y el artículo de Alfayé sobre los primeros trabajos del sitio (Alfayé, 2003-2005) y (Alfayé, 2009, Capítulo 5) de la misma autora.



**Figura 4.62:** Vista parcial del santuario de Peñalba de Villastar con el farallón, donde se encuentra, al fondo. Sopeña (2005)

Este lugar pasa por ser el principal lugar de culto de la deidad Lug en la Península Ibérica: “Hay, además, un buen número de cazoletas y grabados, que incluyen: motivos geométricos y astrales, representaciones zoomorfas, sobre todo aves, pero también caballos y algún cérvido, y antropomorfas, generalmente muy estilizadas, entre las que destacan dos, una de ellas bifronte, consideradas como sendas figuraciones de Lug.” (Lorrio, 1997, pp. 18)

Además del obvio interés que posee el santuario y de ser el único sobre cuya interpretación coincide la bibliografía, aparece en este trabajo a efectos comparativos con el que presento ahora. Estas inscripciones calendáricas, han sido recientemente estudiadas por Marco García Quintela y César González (García Quintela y González, 2010), basados en el trabajo de Beltrán Lloris y colaboradores (Beltrán Lloris y otros, 2005). Si bien la conexión que realizan los autores entre los yacimientos de Campo Lameiro y Peñalba de Villastar es, cuando menos, discutible -sobre todo desde el punto de vista cultural. Pero el gran valor del artículo reside en que intenta despertar el interés por la búsqueda en otros contextos arqueológicos celtibéricos dentro del mundo arqueológico, trabajo que ya comenzaron Cerdeño y Caderot y esta memoria su continuación. Como ellos mismos comentan en las conclusiones del artículo: *"No podemos ni debemos ocultar la parcialidad de los resultados obtenidos. Por razones diversas Peñalba de Villastar, Campo Lameiro y la zona de A Ferradura se presentan como excepcionales y no parece verosímil encontrar zonas análogas muchas más veces en Galicia o el Sur de Aragón. Por el contrario, sí que parece posible que, dada la ubicación extrema dentro del área celta de los lugares examinados, haya otros "santuarios" donde la investigación arqueoastronómica sea pertinente y permita corroborar, matizar o replantear nuestras observaciones y análisis. En este sentido nos parece posible afirmar que al menos tenemos razones para proseguir esta línea de investigación."* (García Quintela y González, 2010, pág. 120)

#### 4.2.1. Descripción del yacimiento

Los trabajos arqueológicos en el oppidum de Los Rodiles (Cubillejo de la Sierra, Guadalajara), llevaron aparejada la prospección de los alrededores en el año 2008 dirigidos por la profesora Cerdeño de la Universidad Complutense de Madrid y Marta Chordá del Centro de Estudios Celtibéricos de Segeda. Estas dieron como resultado el hallazgo del lugar que se ha bautizado como Castilmocho por ser el nombre del topónimo relevante más cercano.<sup>1</sup>

El lugar se encuentra en el término municipal de Cubillejo de la Sierra, en plena Sierra de Caldereros (figura 4.63), a unos 5 kilómetros del mencionado oppidum, exactamente en las coordenadas UTM uso 30 X=605163.715, Y=4523391.582; o expresadas en coordenadas geográficas: latitud 40° 51' 17.16" N, longitud 1° 45' 7.91"

---

<sup>1</sup>Agradecemos las indicaciones de Pedro Fabín Fabín, gran conocedor de la zona y aficionado al estudio arqueológico.

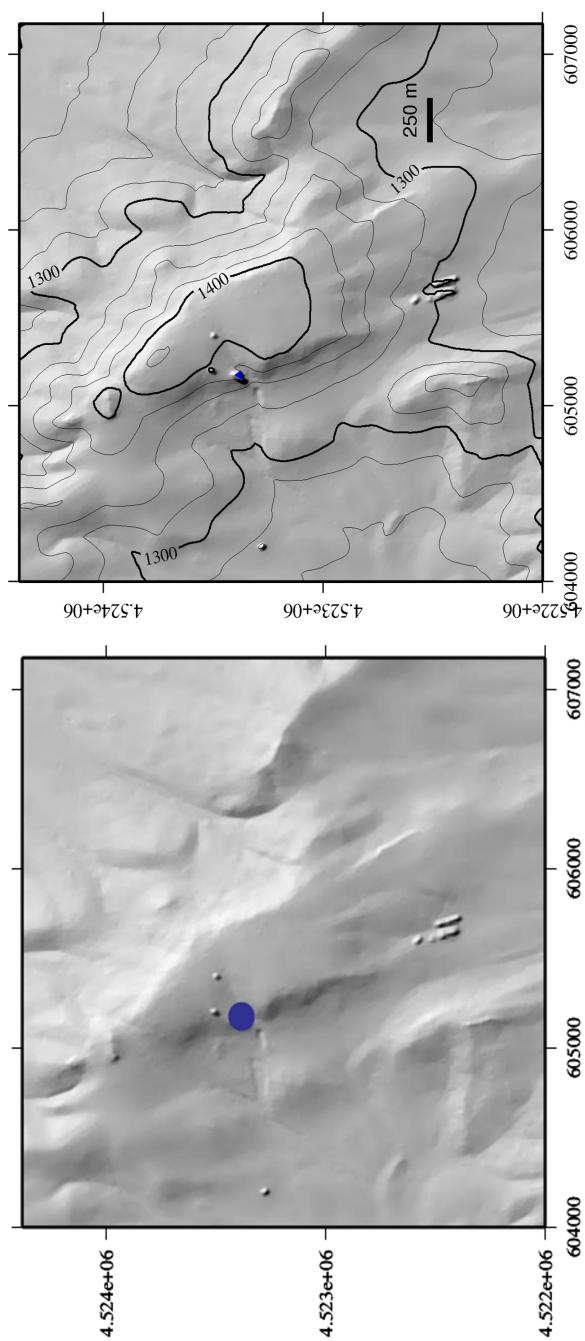




Figura 4.63: Situación del yacimiento en la provincia de Guadalajara (punto azul).

W, con una altura promedio de 1378 metros. Se utiliza la altura promedio ya que el promontorio posee varias alturas, para unos datos más exactos de la altura ver el anexo A2.

El acceso al yacimiento se realiza por la carretera comarcal GU-148 en sentido Zaragoza, por un desvío hacia la derecha en la salida del pueblo de Cubillejo de la Sierra. El camino conduce a la Sierra de Caldereros en cuyo punto más alto se sitúa el promontorio rocoso de Castilmocho 4.64. En la plataforma rocosa de su cima se ubica el posible santuario (figuras 4.65 y 4.66), dominando un vasto territorio.



**Figura 4.64:** Mapa de ubicación del santuario a la izquierda, a la derecha su ubicación teniendo en cuenta las curvas de nivel de la zona.

Si nos fijamos en el promontorio rocoso, que podemos observar en la figura 4.67, se trata de un saliente rocoso de piedra arenisca con dos plataformas en la cima, siendo solamente una de ellas accesible a pie. El acceso al promontorio se realiza únicamente por la parte trasera, que aparece aterrazada (ver figura 4.68), y con restos de muros de entidad, aún por excavar. En la plataforma podemos encontrar 3 niveles rocosos en altura a la izquierda y un pequeño abrigo a la derecha de la entrada. Otra de las características que asemejan el lugar al modelo de santuario celtibérico, es la existencia de un curso de agua al pie del promontorio como puede verse en las figuras 4.69 y 4.70.

El lugar nos pareció suficientemente significativo por su ubicación pero, sobre todo, por las series de cazoletas que conserva. El punto que de momento resulta más discutible es el establecimiento de su cronología puesto que aún no se ha realizado ningún sondeo y los fragmentos cerámicos recogidos son poco elocuentes: pequeños fragmentos muy rodados, aunque algunos bien podrían coincidir con cerámica de tipo celtibérico.



**Figura 4.65:** *Imagen aérea del santuario.*

Lo más reseñable del yacimiento y lo que motivó nuestro interés por dedicarle un amplio estudio, son la serie de cazoletas distribuidas en tres grupos: El primer grupo de cazoletas se encuentra ubicado en el interior del abrigo rocoso, a la derecha del acceso a la plataforma del promontorio. Se trata de dos líneas paralelas forma-





**Figura 4.66:** *Detalle aéreo del santuario.*

das por 4 cazoletas cada una, también aparecen dos cazoletas más ubicadas en los extremos diametralmente opuestos de cada línea, también en paralelo a cada lado de las líneas anteriores. La configuración se muestra en la imagen 4.71 y en la figura 4.74. El segundo grupo de la serie de cazoletas se halla a la izquierda del acceso al lugar justo enfrente del abrigo rocoso. La configuración es de dos líneas paralelas de cuatro cazoletas más otra cazoleta más en paralelo al extremo de una de las líneas y de un tamaño ligeramente mayor. El detalle de la configuración del grupo 2 puede verse en la imagen 4.72 y en el esquema 4.74. Por último, el tercer grupo también se encuentra a la izquierda del acceso en una pequeña plataforma rocosa por encima del grupo 2. El grupo 3 lo conforman tres líneas paralelas de cazoletas, dos de ellas de 4 elementos y entre estas dos líneas otra de dos elementos ubicados a la altura aproximada de las cazoletas primera y tercera de las dos líneas anteriores. El diseño puede apreciarse en la imagen 4.73 y en el croquis de la figura 4.74). Por lo tanto, tenemos tres grupos diferenciados: un primer grupo en el abrigo rocoso de 10 cazoletas y otros dos grupos de 9 y 10 cazoletas respectivamente, es decir, un total de 29 cazoletas.



**Figura 4.67:** *Imagen frontal del promontorio donde se encuentra el santuario.*



**Figura 4.68:** *Imagen trasera del promontorio donde se encuentra el santuario.*





**Figura 4.69:** *Imagen frontal del curso de agua cercano al santuario.*



**Figura 4.70:** *Imagen trasera del curso de agua cercano al santuario.*





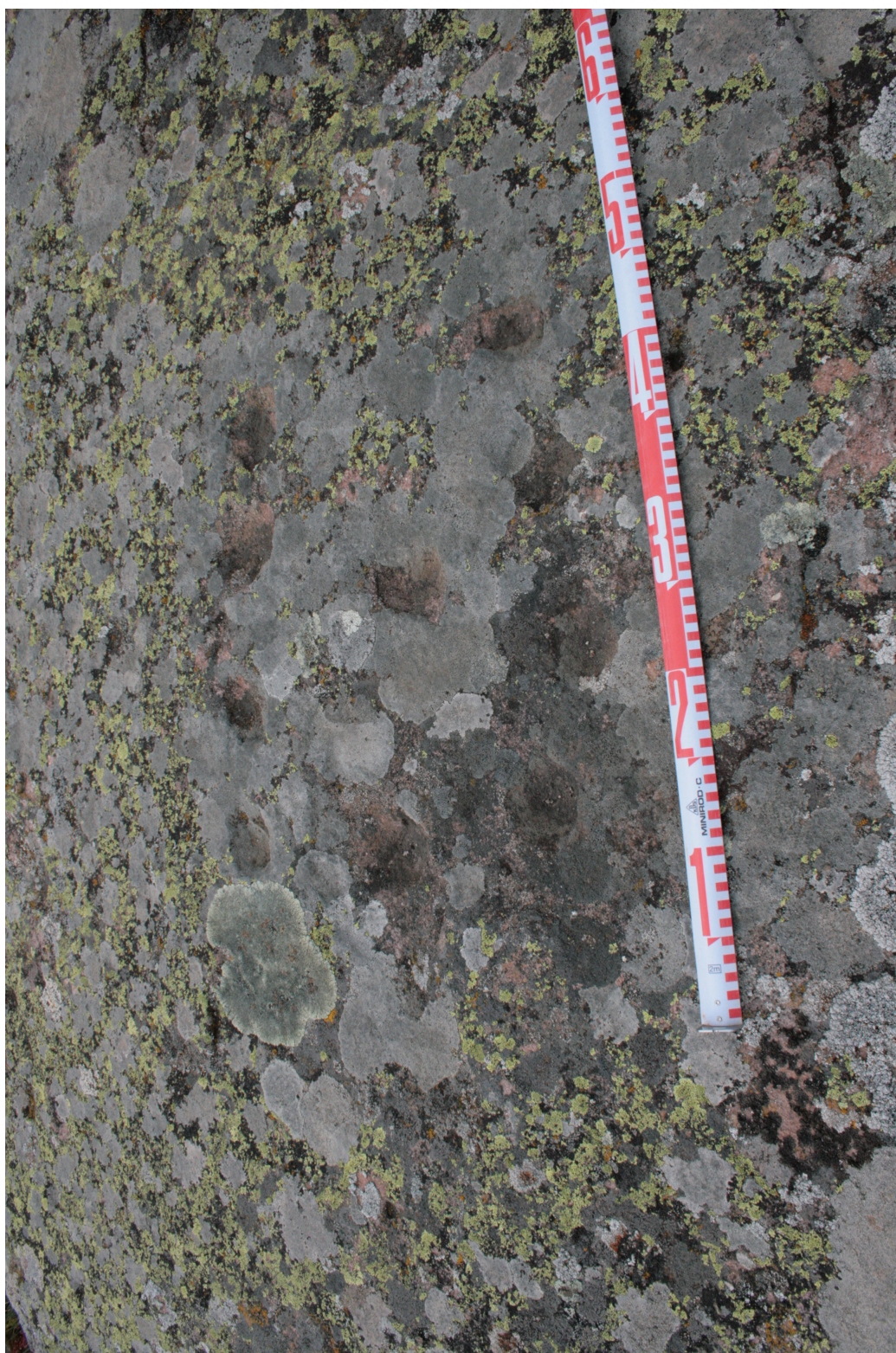
Figura 4.71: Grupo de cazoletas bajo el abrigo (Grupo 1).



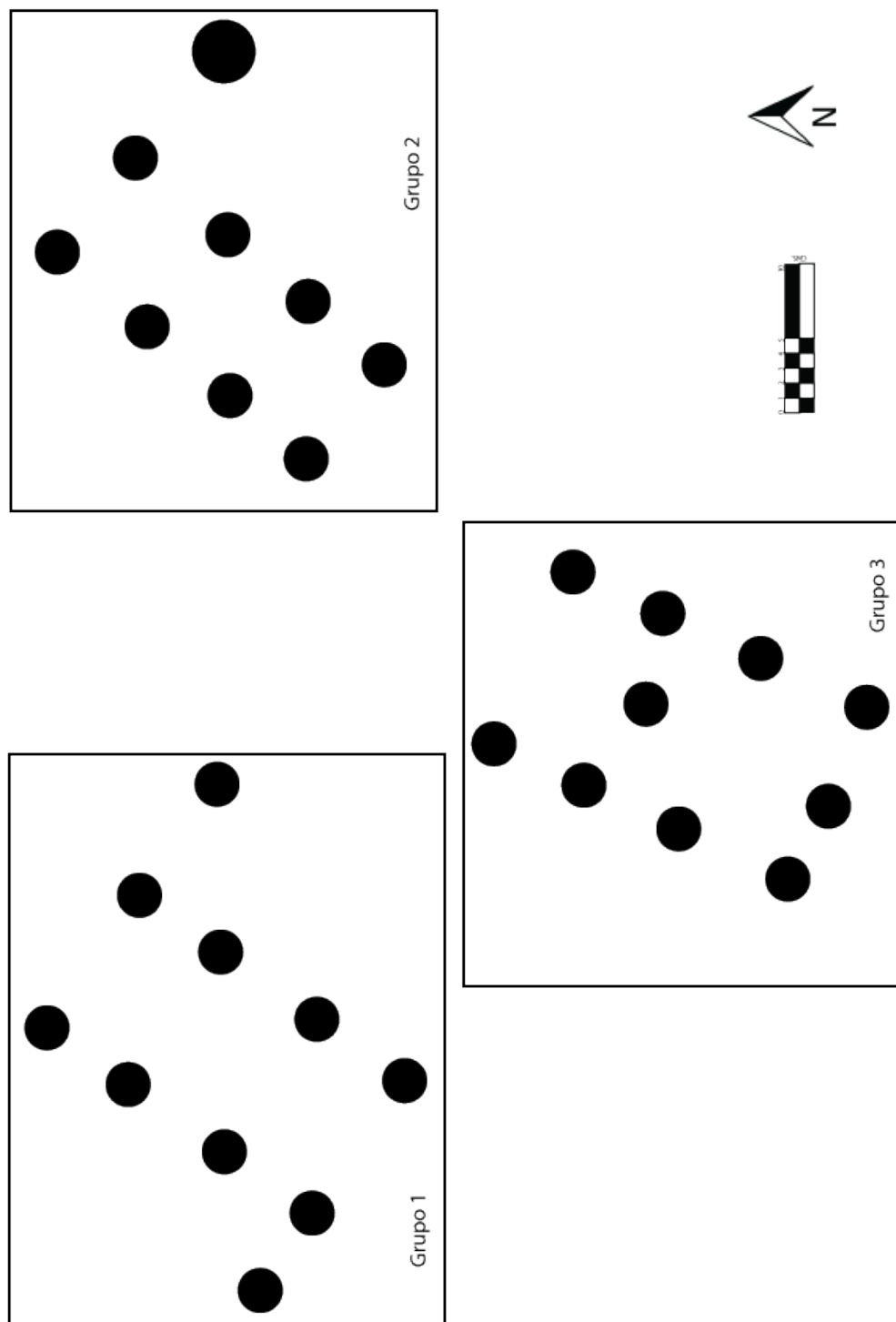


**Figura 4.72:** Grupo de cazoletas a altura intermedia (Grupo 2).





**Figura 4.73:** Grupo de cazoletas a la mayor altura (Grupo 3).



**Figura 4.74:** Esquema aproximado de los tres grupos de cazoletas y su orientación respecto del Norte.

Nos encontramos, por lo tanto, con un lugar que cumple todas las condiciones que presentan los santuarios celtibéricos. Un lugar en la naturaleza, situado en la cima de un promontorio rocoso que domina todo el territorio, cerca de un cauce de agua y ubicado en un lugar donde nos permite, además, tener una visión del cielo en un ángulo de 360°. Un lugar que bien podría ser elegido por la cultura celtibérica para la comunicación con los dioses y en particular -opinión que luego razonaré- con una deidad lunar.

#### 4.2.2. Metodología utilizada

Para dar comienzo al estudio se comenzó ubicando tres estaciones -P000, P100 y P200- que permitieran tener una red local en el yacimiento y permitir georreferenciar el mismo. Por ello, para el cálculo de las coordenadas de las estaciones P000, P100 y P200 se han utilizado tres estaciones GNSS permanentes como referencia:

AJAL: Perteneciente al Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León (ITACyL). La estación está situada en el municipio soriano de Arcos de Jalón.

TERU: Perteneciente al Instituto Geográfico Nacional (IGN). La estación está situada en Teruel.

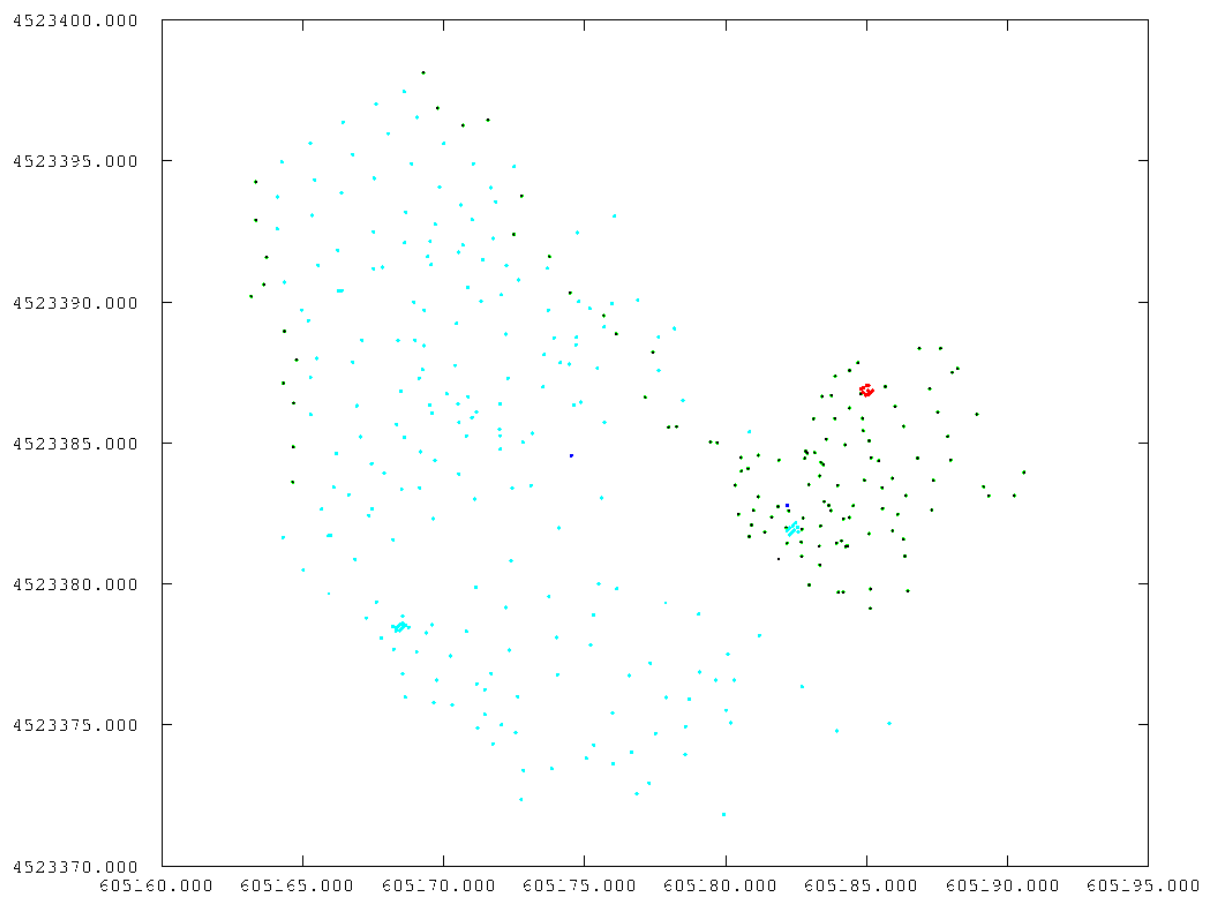
YEB1: Perteneciente al Instituto Geográfico Nacional. La estación está situada en el observatorio de Yebes (Guadalajara).

Tanto el ITACyL como el IGN proporcionan coordenadas de las estaciones en el marco ETRS89, oficial en España por el Real Decreto 1071/2007, de 29 de agosto de 2008. Todas las estaciones tienen precisiones en torno a 1 cm en sus tres coordenadas.

Las efemérides de los satélites GNSS vienen referidas al sistema IGS vigente en la época de observación, en nuestro caso a IGS05. Para un correcto procesado las coordenadas de los puntos de referencia han de ser transformadas al sistema correspondiente a las efemérides, con el fin de realizar el trabajo en un marco común. No existen parámetros oficiales de transformación entre ETRS89 e IGS05, por lo que se ha optado por transformar las coordenadas a ITRF2005 que, si bien no es exactamente IGS05, proporcionar coordenadas lo suficientemente precisas para nuestro trabajo. La metodología utilizada y los parámetros de transformación utilizados se resumen en <http://etrs89.ensg.ign.fr/memo-V7.pdf> y en A5.3.

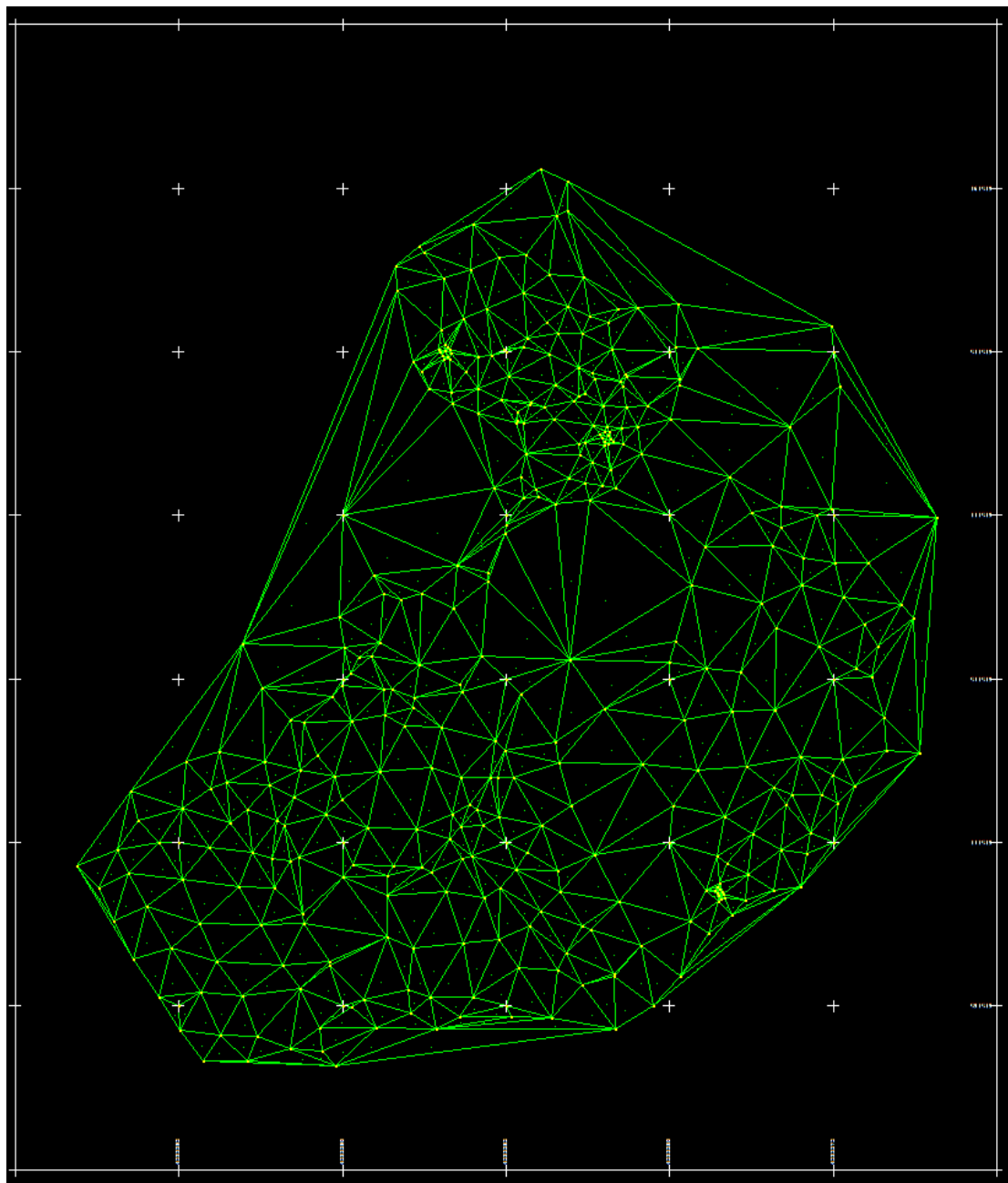
Del mismo modo, se han utilizado efemérides precisas, que garantizan posiciones de los satélites con errores en torno a los 2.5 cm en sus tres coordenadas (<http://igscb.jpl.nasa.gov/components/prods.html>).

En cuanto al intervalo de muestreo de los datos, las estaciones de referencia proveen ficheros con observaciones cada 30 segundos, por lo que los ficheros de los puntos P000, P100 y P200 también contienen observaciones cada 30 segundos. El tiempo de observación en los puntos incógnita está entre 1 y 4 horas con receptores bi y monofrecuencia (LEICA GX1230+ y Pro Mark 2). El receptor bifrecuencia (LEICA GX1230+) se estacionó en el punto P100 durante 4 horas y el Pro Mark 2 se estacionó alternativamente en P000 y P100. En el cálculo de las coordenadas, las estaciones AJAL, TERU y YEB1 se enlazaron con P100 y esta última con P000 y P200. Las distancias entre las estaciones de referencia y P100 oscilan entre los 60 y los 120 km, mientras que entre P100 y P000 hay 78 m y entre P100 y P200 hay 175 metros. Esta configuración de distancias y tiempos garantiza precisiones por debajo de los 5 cm (Leick, 2004, pp. 277-ss).



**Figura 4.75:** *Levantamiento topográfico del recinto del santuario de Castilmocho.*





**Figura 4.76:** Malla por triangulación del espacio que conforma el yacimiento. Los vértices están formados por los puntos del levantamiento teniendo como base de información los puntos altimétricos y considerando las aristas de los triángulos que se forman al unir cada uno de los puntos.

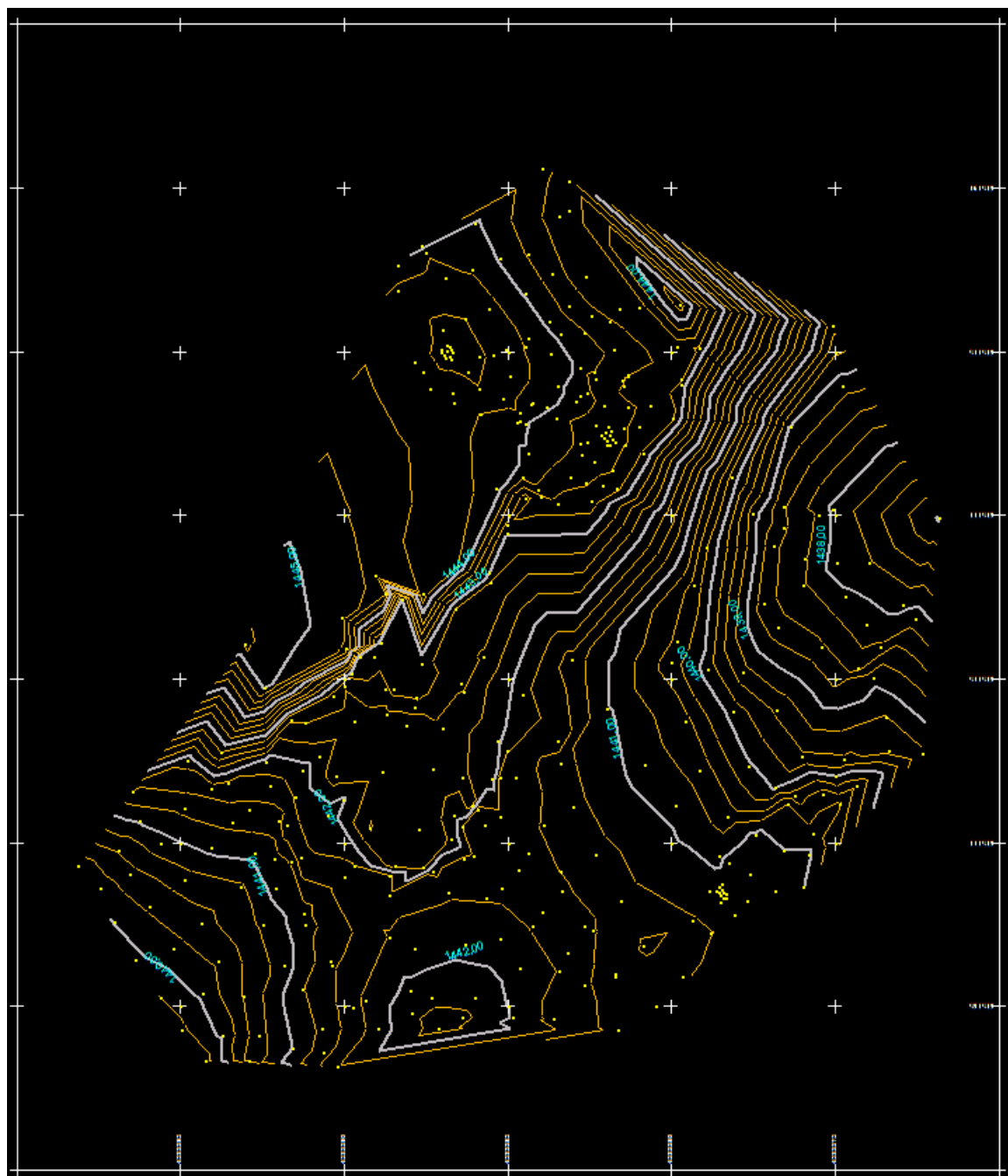
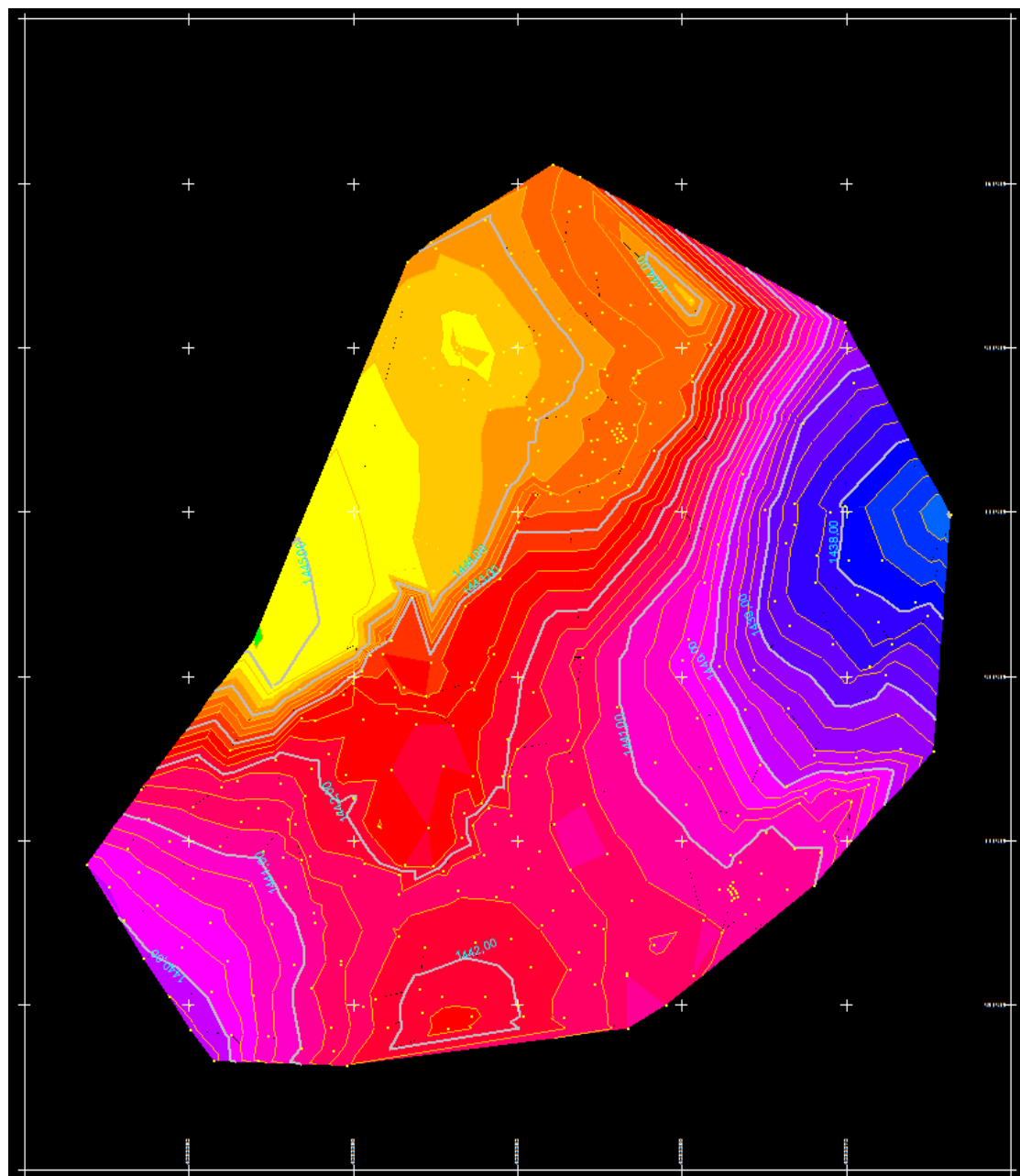
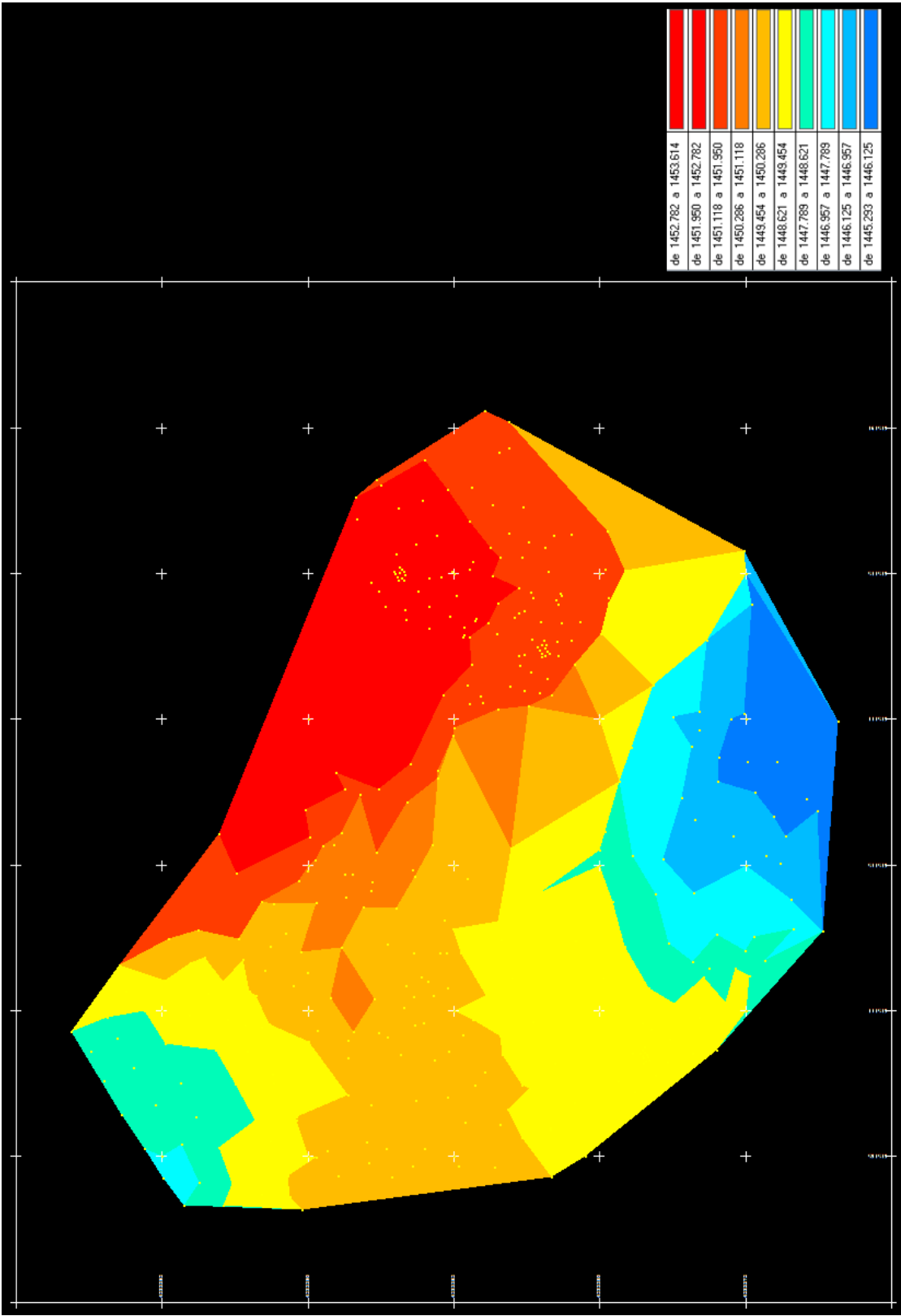


Figura 4.77: Curvas de Nivel de la plataforma donde se ubican los grupos de cazoletas.



**Figura 4.78:** *Curvas de Nivel del recinto que conforma el yacimiento junto con colores por alturas (colores más cálidos a mayor altura).*





**Figura 4.79:** Modelo Digital de Terreno (MDT) del recinto donde se hallan los grupos de cazoletas, se ha utilizado una codificación de alturas mediante colores.

Una vez procesadas las observaciones con el software Topcon Tools v.7.2, obtenemos coordenadas para P000, P100 y P200 en el sistema ITRF2005. Al contrario de lo que hicimos al principio, ahora hemos de transformar las coordenadas a ETRS89, para que sean congruentes con el sistema oficial usado en la cartografía. Una vez transformadas y proyectadas en UTM, las coordenadas son (m):

| <b>COD</b> | <b>SREF</b> | <b>X</b>   | <b>Y</b>    | <b>Helip</b> |
|------------|-------------|------------|-------------|--------------|
| P000       | ITRF89      | 605174.529 | 4523384.549 | 1441.8174    |
| P100       | ITRF89      | 605140.618 | 4523453.632 | 1430.3215    |
| P200       | ITRF89      | 605222.953 | 4523299.844 | 1439.3140    |

Las desviaciones típicas en el cálculo de las coordenadas de los puntos incógnita son (m):

| <b>COD</b> | <b>Sx</b> | <b>Sy</b> | <b>Sh</b> |
|------------|-----------|-----------|-----------|
| P000       | 0.009     | 0.009     | 0.022     |
| P100       | 0.008     | 0.009     | 0.021     |
| P200       | 0.009     | 0.010     | 0.022     |

donde se observa el hecho constatado de que la precisión en altimetría es unas 2-2.5 veces mayor que en planimetría (Leick, 2004, pág. 95). Los resultados de estos trabajos y mediciones, una vez trabajadas podemos ver los resultados del levantamiento en la figura 4.75 y de la microtopografía resultante en diferentes representaciones en las figuras 4.76, 4.77, 4.78 y 4.79.

Con vistas a su posterior uso en el levantamiento topográfico, se muestran los acimuts UTM (en graduación centesimal) de P000 a los otros dos puntos. Las desviaciones típicas se han estimado teniendo en cuenta la incertidumbre en las coordenadas:

| <b>COD</b> | <b>Sx</b>          |
|------------|--------------------|
| P000-P100  | 370.9498+/- 0.0104 |
| P000-P200  | 166.9382+/- 0.0083 |

Todas las alturas de las antenas han sido reducidas a la vertical y a la base de la antena e indicadas en el campo correspondiente de los ficheros RINEX. Las alturas inclinadas originales son:

- PA00: 1.327 m
- PA10: 1.444 m

A continuación se muestran las coordenadas de los puntos de referencia en ITRF2005:

| COD  | ÉPOCA     | XGEOC       | YGEOC       | ZGEOC       | LAT      | LON      | HELIP   |
|------|-----------|-------------|-------------|-------------|----------|----------|---------|
| AJAL | 2010.5041 | 4801696.553 | -190640.849 | 4181085.736 | 41.21606 | -2.27360 | 884.209 |
| TERU | 2010.5041 | 4867391.619 | -95523.933  | 4108341.409 | 40.35049 | -1.12430 | 956.224 |
| YEB1 | 2010.5041 | 4848800.337 | -261769.690 | 4123001.209 | 40.52377 | -3.09019 | 975.405 |

Y las coordenadas de los puntos de trabajo en ITRF2005:

| COD  | ÉPOCA     | XGEOC       | YGEOC       | ZGEOC       | LAT      | LON      | HELIP    |
|------|-----------|-------------|-------------|-------------|----------|----------|----------|
| PA00 | 2010.5041 | 4832657.784 | -145202.014 | 4147955.060 | 40.81754 | -1.72099 | 1293.150 |
| PA10 | 2010.5041 | 4832674.152 | -145148.524 | 4147939.045 | 40.81734 | -1.72035 | 1293.847 |

Las coordenadas de los puntos de trabajo en ETRS89:

| COD  | ÉPOCA     | XGEOC       | YGEOC       | ZGEOC       | LAT      | LON      | HELIP    |
|------|-----------|-------------|-------------|-------------|----------|----------|----------|
| PA00 | 2010.5041 | 4832657.848 | -145201.976 | 4147954.928 | 40.81753 | -1.72099 | 1293.111 |
| PA10 | 2010.5041 | 4832674.217 | -145148.485 | 4147938.912 | 40.81734 | -1.72035 | 1293.809 |

Y, por último, las coordenadas UTM (HUSO 30) de los puntos de trabajo en ETRS89:

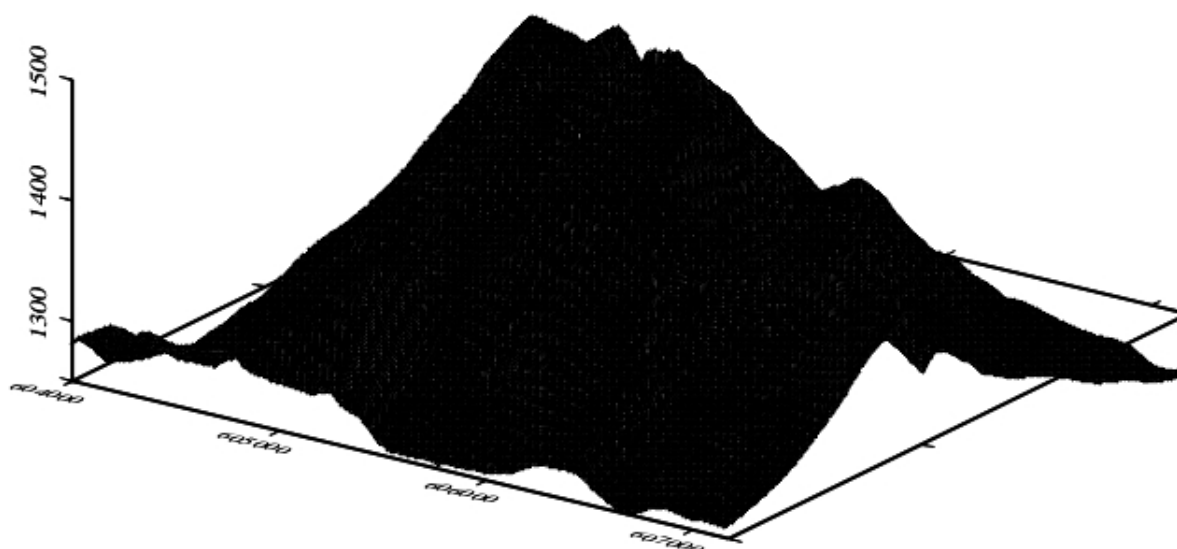
| COD SREF    | ÉPOCA     | X          | Y           | HELIP     |
|-------------|-----------|------------|-------------|-----------|
| PA00 ITRF89 | 2010.5041 | 607864.066 | 4519289.585 | 1293.1119 |
| PA10 ITRF89 | 2010.5041 | 607918.311 | 4519268.619 | 1293.8095 |

Acimut UTM en ETRS89 (graduación centesimal)

PA00-PA10 123.4798

Acimut geodésico en ETRS89 (graduación centesimal)

PA00-PA10 124.4088



**Figura 4.80:** *Modelo Digital de Terreno (MDT) de la zona circundante al santuario.*

### 4.2.3. Estudio arqueoastronómico

Para los cálculos astronómicos se ha utilizado la fecha del año 300 a.C. basándonos en la datación mediante C-14 (Cerdeño y otros, 2008, pág. 184) del oppidum de los Rodiles que es el yacimiento celtibérico más cercano -del que pensamos estuvo en relación- y que nos da dos horquillas temporales de cal.410-200 a.C. y cal. 380-200 a.C. Lo primero que llama la atención en el yacimiento es la posición y el número de cazoletas que conforman los grupos dentro del sitio arqueológico. El lugar donde se encuentran estos grupos es en la cima del promontorio y diversos salientes

rodean al observador nada más llegar, a la vez que el cielo es visible en 360°. Sin duda un lugar privilegiado y estratégico en la zona para observar el paisaje celeste. Sería difícil, en una primera aproximación conocer qué astros o asterismos eran reconocidos o buscados por los pobladores de la celtiberia ya que tenemos -como se comentó anteriormente- una gran pobreza de fuentes escritas. Sin embargo, podemos estar seguros de que uno de los astros que fueron observados y venerados como deidades por las tribus que formaron la cultura celtibérica fue la Luna.

El culto lunar celtibérico está atestiguado (ver la sección 4.2) pero también tuvo una gran importancia al ser la base del calendario celta. Una discusión amplia de la importancia de la luna en el calendario lunar y soli-lunar celta puede verse en el artículo *El "calendario celta" como fuente para el estudio de la cultura céltica. Arqueoastroonomía y Etnohistoria* en el que compartí autoría con Jesús F. Torres-Martínez (Mejuto y Torres-Martínez, 2010). En dicho trabajo se presenta cómo la observación de la luna y de sus ciclos tiene una relación directa con la formación del calendario e influye directamente en otras esferas sociales como la economía, la religiosa, ritual, etcétera.

Es de particular interés la descripción que se hace del concepto celta de dualidad, en particular, para la luna que define una quincena sombría y una quincena luminosa atendiendo a las distintas fases que pasa el satélite durante su ciclo mensual. Pero el concepto temporal también puede participar en la interrelación con la divinidad. Como comentamos en el mismo artículo previamente citado: *"Tanto en el calendario céltico que conocemos como otras culturas de tradición indoeuropea empleaban dos líneas de cómputo del tiempo diferentes y paralelas. Una de ellas se correspondería con un tiempo divino, de los dioses, autónomo del tiempo de los humanos, y que posee medidas y proporciones siderales, propias del movimiento de los planetas, las estrellas y las constelaciones. Y que necesita del seguimiento sistemático de los planetas y las estrellas para poder establecer su cómputo. La otra línea temporal, el tiempo de los humanos, está formada por los ciclos lunares y solares, por su naturaleza resulta trópico, es mucho más corta en sus ciclos y además inexacta.*

*En este sistema de cómputo soli-lunar, la concepción del tiempo es cíclica, lo que permite pronosticar una serie de distintas efemérides astronómicas fundamentales: equinoccios, solsticios y eclipses. Esta forma de medida del tiempo evidencia una concepción del tiempo formada por una sucesión de ciclos repetitivos y de eterno retorno. Esta idea de un Universo formado por movimiento cíclico continuo será uno de los fundamentos de la teología celta y aparecerá frecuentemente más adelante: unos periodos en su decadencia engendran los si-*

*guientes que, tras su esplendor pasan a una fase de decadencia en la que se engendran de nuevo los siguientes y así sucesivamente.*

*Ambos tiempos discurren paralelamente y tenían momentos de coincidencia que se establecían a través de determinadas efemérides astronómicas. En estos momentos tanto el tiempo divino como el tiempo de los humanos convergen, los distintos ámbitos del Universo se unirían y los dioses intervienen en el mundo humano.”*

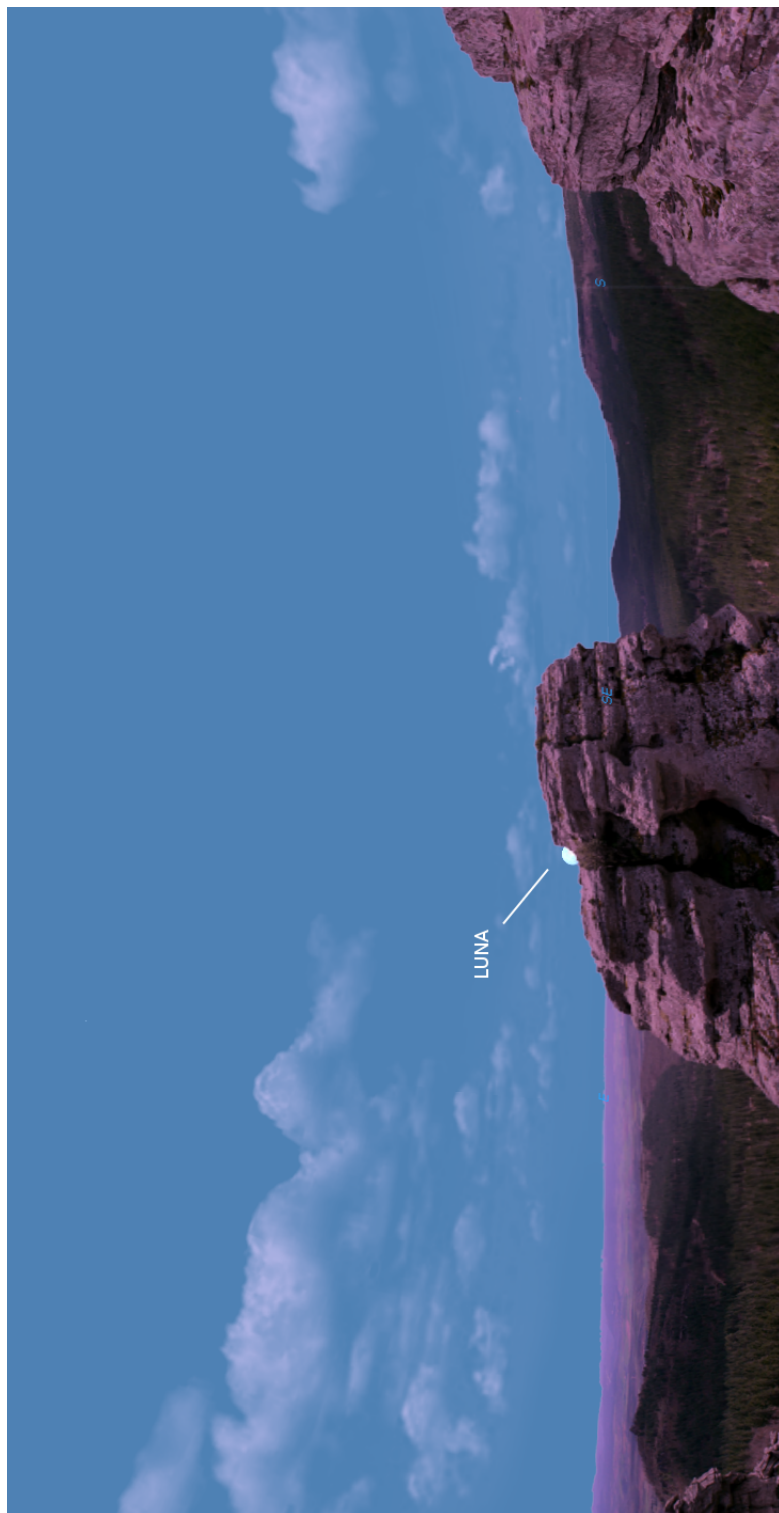
Por lo tanto, parece más que plausible encontrarnos con un santuario celtibérico dedicado al culto lunar. En efecto, el caso del santuario de Castilmocho parece ser el primer caso de un santuario de este tipo del que tenemos noticia. En este caso en particular, su importancia reside en que no parece solamente un santuario en el que tomar contacto con la divinidad, si no que podríamos estar ante las primeras evidencias de que también fue usado como observatorio para estudiar el movimiento y eventos lunares. Pero para entender la relación de nuestro satélite natural con el yacimiento, primero debemos detenernos en definir lo que llamamos mes, concepto definido a partir de la luna. Existen, según a lo que atendamos como referencia, diferentes definiciones de meses:

- Mes sinódico: Período transcurrido entre dos fases idénticas de la luna. 29.530588853 días.
- Mes sidéreo: Período transcurrido entre que la luna vuelve a tener el mismo fondo de estrellas de forma consecutiva. 27.321661547 días.
- Mes trópico: Es el tiempo transcurrido entre dos pasos consecutivos de la Luna por el círculo horario del punto Aries. 27.321582241 días.
- Mes draconítico: Este mes es el tiempo transcurrido entre dos pasos de la Luna por un nodo. 27.212220817 días.
- Mes anomalístico: Período transcurrido entre dos pasos consecutivos por el perigeo. 27.554549878 días.

De todas estas definiciones de mes solo las dos primeras son definiciones naturales y fueron las que se utilizaron en la antigüedad. Sin embargo, el mes que es más intuitivo y que más se utilizó en el pasado e, incluso hoy día, es el mes sidéreo que se utiliza para definir la duración mensual. Si tenemos en cuenta que su duración es un poco mayor de 29 días y medio y que en el pasado no se tenía el concepto de

decimal, lo lógico es que se tomara el entero más cercano al valor exacto, 29 días. Este es el número de cazoletas que se pueden contar divididos en tres grupos, de 10, 9 y 10. Aunque no hay una explicación real del motivo, y no se conoce la relación con los ciclos lunares, sí se conoce (Kelley y Milone, 2005, pág. 158) que existe una conexión entre el número 10 y la observación lunar. Se trata de un apoyo más a la explicación lunar ya que este tipo de contajes son independientes de la cultura que los realice, se trata de ciclos de duración fija que duran lo mismo independientemente del lugar o época en el que se hayan medido, y por lo tanto, su medición debe durar el mismo número de días.

Es decir, sería una forma de contar los días que conforman un mes sidéreo, muy utilizado por su fácil identificación. El conteo repetitivo y sistemático de eventos celestes, en este caso las fases lunares son vitales a la hora de determinar ciclos y generar conocimiento astronómico. La existencia de esta costumbre ya implica la transmisión de información de carácter astronómico a lo largo de varias generaciones y por supuesto, a lo largo de un gran periodo de tiempo. Lo cual nos permite hacernos una idea de la importancia que se otorgaba a la astronomía y en particular a la Luna, ya sea desde un punto de vista pragmático -agrícola, conocimiento de épocas de celo y parto de animales, ...- como reloj de proceso cíclicos vitales, partos, épocas de fertilidad, etcétera, o incluso como medio de contacto con las deidades que representaban a la Luna.



**Figura 4.81:** Orto lunar coincidiendo con la marca de la roca donde se ubica el abrigo con el Grupo 1 de cazoletas.





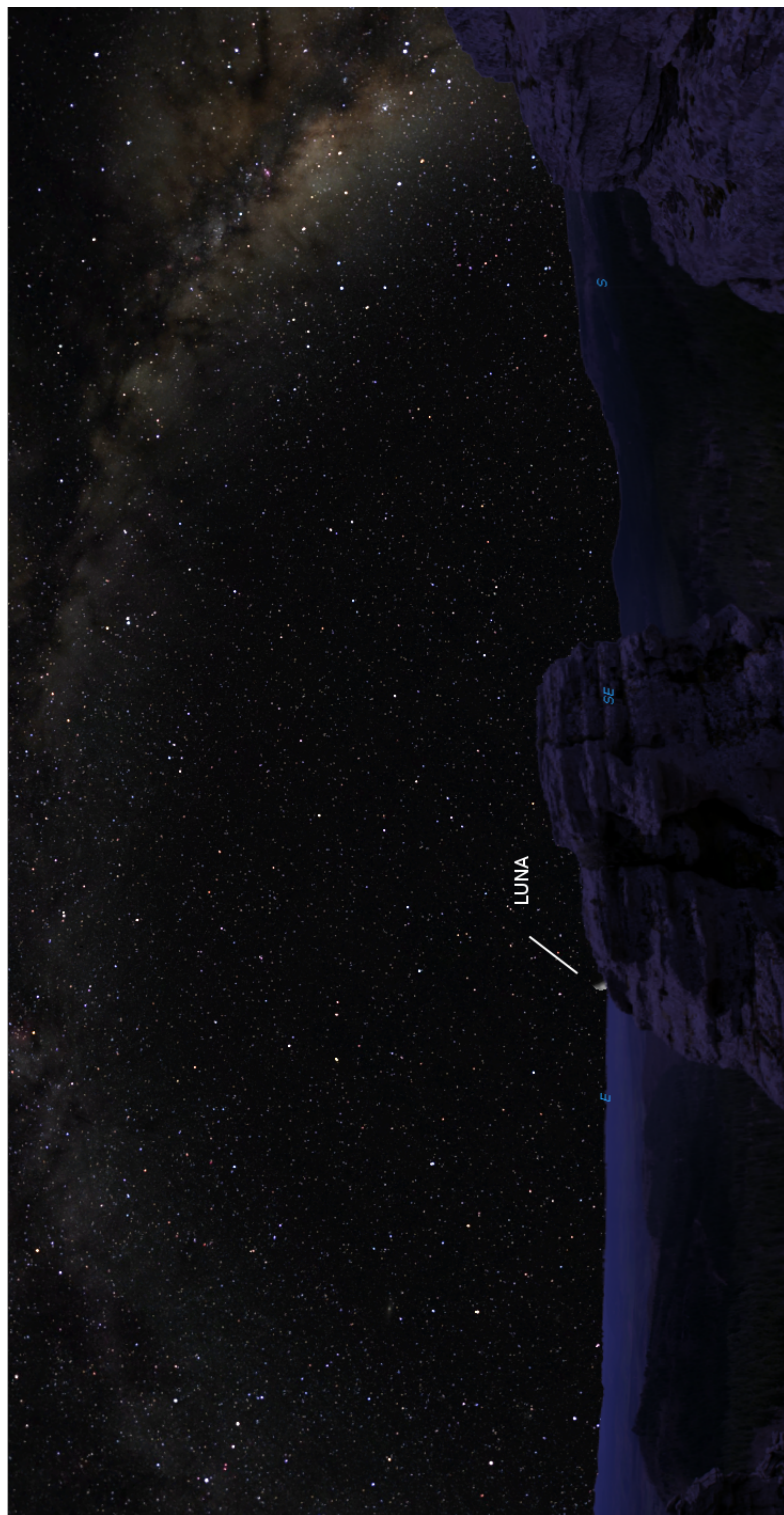
**Figura 4.82:** Orto lunar coincidiendo con el extremo Sur de la roca donde se ubica el abrigo con el Grupo 1 de cazoletas.

Hemos tratado de interpretar por qué se presentan en dos grupos: un grupo de 10 cazoletas en el abrigo y los otros dos grupos de 9 y 10 en la plataforma rocosa que se ubica enfrente. Hay que buscar esa interpretación en su situación espacial dentro del espacio que conforma el santuario. Si nos colocamos donde se encuentran los dos grupos de cazoletas podemos utilizar la roca donde se ubica el abrigo como un marcador de eventos lunares. Ejemplo de ello, son las figuras 4.81, 4.82, 4.83 y 4.84. Son imágenes que se han obtenido tras realizar una imagen de 360° del horizonte y colocarla sobre un modelo del cielo para el año 300 a.C. y ejecutar el modelo durante un año completo. En la primera imagen 4.81, podemos observar cómo el 11 de Mayo la luna llena sale justamente por encima de la roca, en el punto donde existe un rebaje en la misma. Del mismo modo, las figuras 4.82 y 4.83 muestran el orto lunar en los momentos donde la luna coincide con los extremos Sur y Norte respectivamente. El primer evento ocurre justo un mes después de que ocurra la coincidencia de la luna con el rebaje de la roca en su salida. La luna coincide con el extremo Norte el día 20 de Mayo.

Poniéndolo en relación con el calendario celta, el mes de Mayo tiene una explicación cultural. Este mes, Beltaine para el tradicional calendario lunar y luni-solar (Mejuto y Torres-Martínez, 2010), es el mes de la festividad con el mismo nombre. Su nombre contiene la palabra *taine* -tine, en irlandés moderno- que significa fuego que se identifica con el Sol. Es el fin del semestre sombrío celta y el comienzo del luminoso, en esta época durante la noche se realizaban grandes fuegos que representaban este paso anual y se hacían pasar a los animales entre los fuegos como rito de fertilidad para el nuevo período.

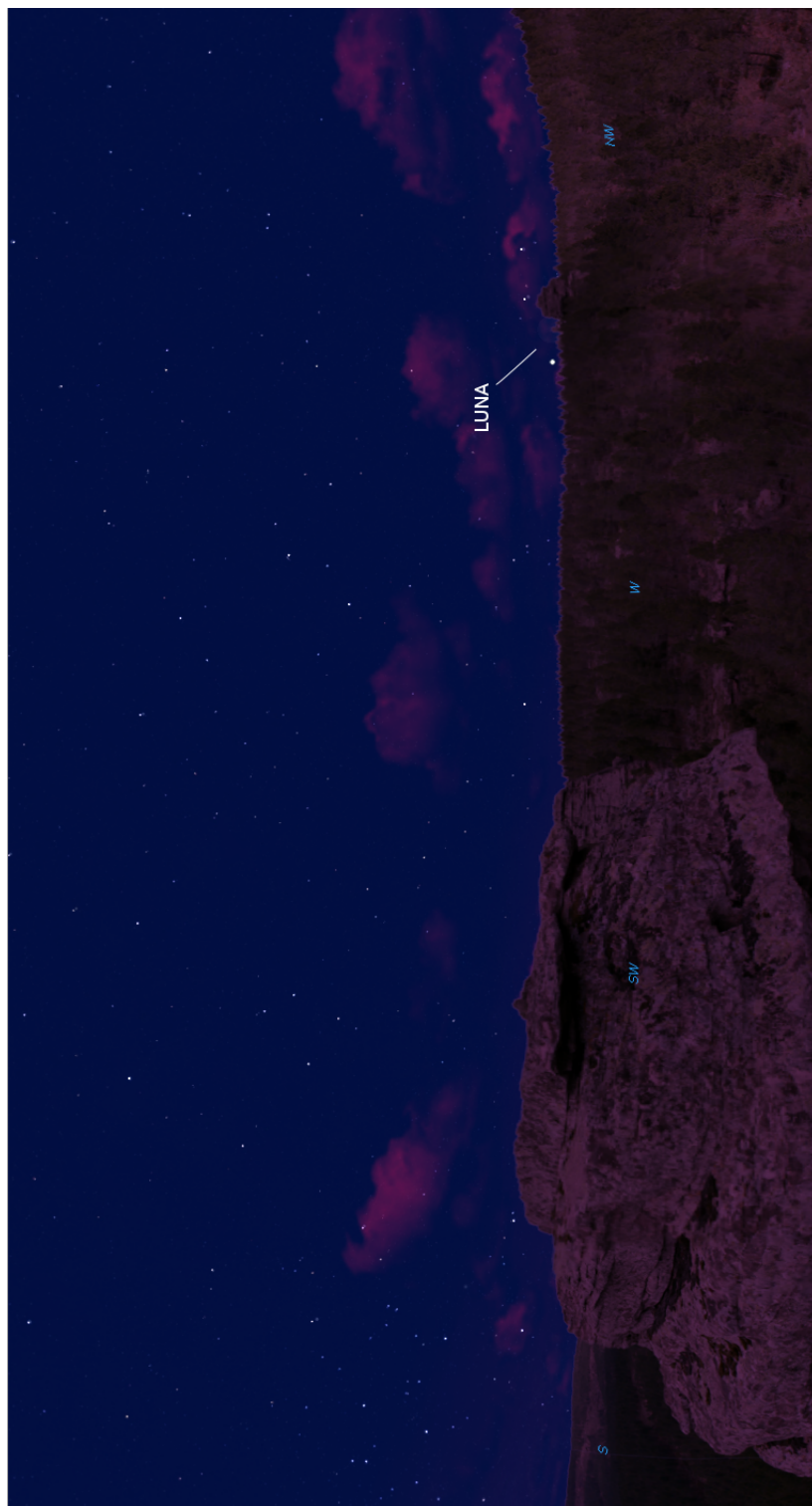
Hay pocas dudas que la roca pudo ser utilizada como marcador de la fecha exacta que se celebraba este cambio en la Celtiberia, justo en el momento en el que la luna llena cubría la marca de la roca sobre el abrigo. Para marcar más esta explicación, se demuestra que todo el mes de mayo está cubierto desde el santuario. Desde el abrigo rocoso es posible observar el ocaso lunar el día 29 de Mayo, el fin del mes de Beltaine 4.84. De nuevo se ve en la imagen -como es complicado marcar este evento sobre el horizonte- se utiliza un marcador del territorio para fijar la posición lunar para el día fijado. Esto ocurre, además, coincidiendo con luna nueva, cumpliendo de nuevo el ciclo luz-oscuridad celta para las quincenas lunares celtas (Mejuto y Torres-Martínez (2010), Valdés (2003), Le~Contel y Paul (1997), Brunaux (1986)).

Como se ha venido explicando, el lugar además de un más que posible santuario -a falta de una excavación posterior que lo corrobore- parece un testigo de una observación continuada y sistemática del movimiento lunar. El lugar fue elegido para poder conocer el momento que divide por la mitad al año celta (luz-oscuridad), típicas divisiones antagónicas que caracterizan a la cultura de los pueblos celtas. Un momento que fue celebrado por estas culturas y que tenía un máximo interés político, religioso, económico y ceremonial.



**Figura 4.83:** Orto lunar coincidiendo con el extremo Norte de la roca donde se ubica el abrigo con el Grupo 1 de cazolelas.





**Figura 4.84:** Ocaso lunar desde el abrigo donde se ubica el Grupo 1 de cazoletas, se puede apreciar la coincidencia con el marcador del horizonte.

### 4.3. Recintos de Fosos Neolíticos

Los trabajos arqueoastronómicos realizados en los recintos de fosos neolíticos del aletenjo portugués comenzaron porque el investigador portugués António Carlos Valera (director del departamento de Investigación Arqueológica en la empresa portuguesa de arqueología ERA-Arqueologia, S.A. (<http://www.nia-era.org/>)) se interesó por nuestro trabajo en las necrópolis celtibéricas. Ello permitió el desarrollo y participación conjunta en un proyecto de investigación titulado *Plan-tas de Recintos de Fossos e Cosmologías Neolíticas: Uma abordagem Paisagística, Arqueoastronómica e Geofísica* en el que fui responsable de la parte de la investigación correspondiente a los estudios arqueoastronómicos y del paisaje.

Estos fosos son estructuras en negativo con tendencia a la circularidad en su forma y con varios recintos circulares concéntricos que van desde unos pocos metros a varios centenares de diámetro. Normalmente no contiene evidencias de edificios o construcciones en positivo, el trazado de los fosos presenta con frecuencia discontinuidades, que son interpretadas como puertas (Márquez y Jiménez, 2012, pp. 69-ss).

Aparecen recintos similares por todo el continente europeo con variaciones morfológicas que según Valera y Becker se deben a la variedad de sus significados conceptuales. Y resaltan que hasta ahora las propuesta interpretativas de estos recintos solo se han abordado dentro de marcos teóricos procesualistas y materialistas (Valera y Becker, 2011). Estas propuestas han explicado los recintos como asentamientos permanentes fortificados realizados por pueblos agrícolas o ganaderos, su diferencia de tamaño ha sido interpretada como consecuencia de una distribución jerárquica de los asentamientos o del territorio. Otras explicaciones minoritarias han explorado la gestación de la identidad y del mundo simbólico aunque sin demasiado acuerdo entre las posturas procesualistas y materialistas.

Los recintos de fosos se descubrieron inicialmente en Alemania, Austria y el Sur de Inglaterra (Andersen (1997), Darvill y Thomas (2001) y Parkinson y Duffy (2007)). Sin embargo el auge estos últimos años de obras civiles y algunos proyectos de investigación ha permitido que se hayan descubierto gran cantidad de yacimientos de este tipo en zonas más meridionales y en particular en la Península Ibérica.

### 4.3.1. Recintos de Fosos en el Alentejo portugués

*Plantas de Recintos de Fossos e Cosmologías Neolíticas: Uma abordagem Paisagística, Arqueoastronómica e Geofísica* es un proyecto financiado por la Fundación Calouste Gulbenkian y liderado científicamente por el Doctor Antonio Carlos Valera. El estudio geofísico estuvo bajo la responsabilidad de Helmut Becker y el estudio arqueoastronómico y topoastronómico fue codirigido por el autor de esta tesis y la profesora Rodríguez-Caderot.

Nuestro trabajo se desarrolló durante el estudio arqueoastronómico sobre un total de seis yacimientos: Moreiros, Santa Vitória, Monte do Olival I, Outeiro Alto, Xancra y Perdigões, los yacimientos que se encuentran distribuidos por la región del Alentejo portugués de la forma que puede verse en la figura 4.85. Los citados yacimientos representan aproximadamente el 20 % de la totalidad de los monumentos de este tipo en Portugal.

Aunque presentaremos más adelante cada yacimiento pormenorizadamente, comentaremos brevemente su significado general. El primero de estos sitios arqueológicos es Moreiros que se sitúa en Arronches, Évora y presenta varios recintos de los llamados *wavy enclosures* por su forma ondulada. Santa Vitória in Campo Maior, recinto bien conocido en Portugal y totalmente excavado, tiene solamente un recinto. Outeiro Alto en Serpa (Beja) muy similar al recinto de Santa Vitória. Monte do Olival se sitúa en Ferreira do Alentejo (Beja) tiene al menos 4 recintos. En Cuba, en el distrito de Beja tenemos el recinto de Xancra, con fosos muy interesantes de marcada dirección a través de sus puertas recorriendo sus 3 recintos.

El último es también el más grande e interesante de los referidos en el estudio. El complejo arqueológico de Os Perdigões está formado por el recinto propiamente dicho, su necrópolis y un cromlech. A pesar de que cada una de las partes que forman el complejo es susceptible de ser estudiado astronómicamente de manera independiente nos centramos únicamente en el estudio del recinto de fosos. Se encuentra ubicado, como todo el complejo, en el interior de un viñado en Reguengos de Monsaraz siendo su extensión de unas 20 hectáreas. En cuanto a sus recintos, el central se data al final del Neolítico, los ondulados intermedios en la primera mitad del 3º milenio y los externos, que se encuentran parcialmente abiertos, durante la cultura campaniforme, probablemente en la segunda mitad del 3º milenio. El yacimiento parece haber sido usado ininterrumpidamente aproximadamente durante 1500 años.

Hemos tomado en consideración los periodos neolítico y calcolítico por ser la época mejor documentada desde el punto de vista arqueológico y astronómico. Comenzaremos por ubicar geográficamente los lugares elegidos para el estudio y cuyas coordenadas geográficas y UTM de los yacimientos respecto del Datum WGS84 se pueden ver a continuación, junto con el gráfico de la figura 4.85 que muestra la distribución espacial de los mismos:

■ **MOREIROS**

Latitud: 39° 6' 13"N

Longitud: 7° 20' 50"W

Altitud: 355 m

UTM: 29642911 E - 4329559 N

■ **SANTA VITÓRIA**

Latitud: 39° 0' 15"N

Longitud: 7° 5' 31"W

Altitud: 319 m

UTM: 29665226 E - 4318977 N

■ **MONTE DO OLIVAL I**

Latitud: 38° 10' 22"N

Longitud: 8° 8' 2"W

Altitud: 89 m

UTM: 29575852 E - 4225331 N

■ **OUTEIRO ALTO**

Latitud: 38° 1' 37"N

Longitud: 7° 33' 57"W

Altitud: 195 m

UTM: 29625880 E - 4209763 N

■ **XANCRA**

Latitud: 38° 8' 52"N

Longitud: 7° 53' 54"W

Altitud: 178 m

UTM: 29596522 E - 4222776 N



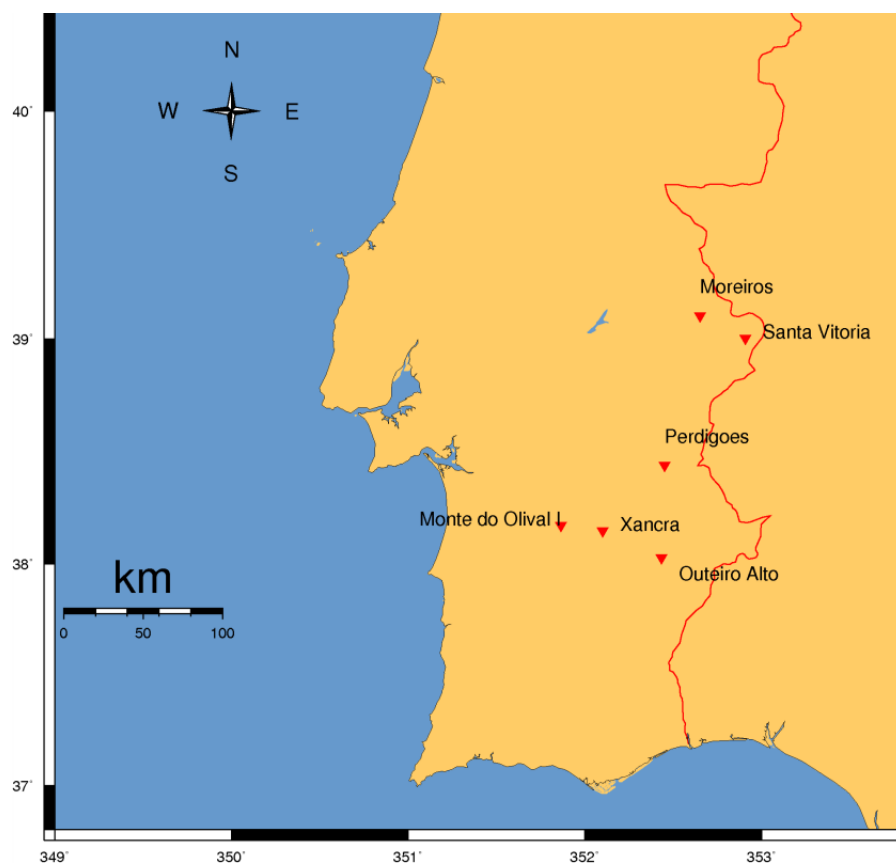
#### ■ PERDIGÕES

Latitud: 38° 26' 25"N

Longitud: 7° 32' 52"W

Altitud: 248 m

UTM: 296226729 E - 4255674 N



**Figura 4.85:** Distribución espacial de los yacimiento estudiados

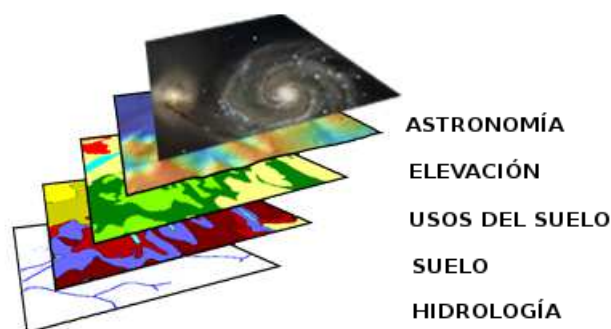
#### 4.3.2. Metodología

El trabajo realizado en este proyecto ha requerido del diseño de una nueva metodología de trabajo debido a las peculiares características de los yacimientos estudiados, que se detallan a continuación.

La mayoría de los recintos no se encuentran excavados y no está prevista su excavación en un futuro próximo, y por ello, no se podían utilizar los métodos astro-

geodésicos habituales. Se optó por realizar el uso de la tecnología de Infraestructura de Datos Espaciales.

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son un caso especial de IDE y han demostrado ser una herramienta de gran utilidad a la hora de representar los elementos de un yacimiento arqueológico. Un Sistema de Información Geográfica es un caso especial de Sistemas de Información donde la base de datos consiste en observaciones de propiedades, actividades o eventos distribuidos espacialmente, los cuales son definibles en el espacio como puntos, líneas y polilíneas. Previamente ya se ha explicado más detalladamente los IDEs por lo que pasaremos al estudio propiamente dicho.



**Figura 4.86:** *Capa de información astronómica añadida a las clásicas capas de información geográfica*

En nuestro caso, se ha partido de la información proporcionada por los trabajos geofísicos de Helmut Becker junto con las planimetrías y topografía que se utilizaron en el proyecto. El objetivo de esta parte del trabajo era conjugar técnicas GIS tradicionales, con el cálculo de efemérides astronómicas y su posterior representación sobre el terreno. Obtenemos, por lo tanto, una capa de información astronómica que podemos añadir al resto de capas de información geográfica que habitualmente se utiliza en este tipo de estudios (figura 4.86). Para ello se ha trabajado en dos aspectos.

Por un lado, se ha realizado una toma de datos sobre el terreno y la posición de cada uno de los yacimientos y a partir de sus coordenadas UTM, se ha determinado el horizonte visible desde ellos. Se ha utilizado el software gvSIG junto a la extensión SEXTANTE. Esto ha proporcionado una capa cartográfica en formato Shapefile con los puntos correspondientes al relieve que marca la línea de horizonte. Como referencia para determinar la altura de cada uno de los puntos que forman parte de

este horizonte, se ha utilizado el Modelo Digital de Elevaciones proporcionado por el Instituto Geográfico Portugués a partir de datos de la misión SRTM.

La segunda parte está relacionada con el cálculo de variables astronómicas. En este caso se ha optado por evaluar la posición del orto y ocaso del sol durante los equinoccios y solsticios. Adicionalmente, se está preparado para incluir cualquier fenómeno que se considere relevante, como ortos helíacos de astros, asterismos, eventos astronómicos, etcétera. Con este objetivo, se ha escrito un programa en Python que permite los siguientes cálculos a partir de la posición del yacimiento y de la época de referencia:

- Calcular los puntos de acimut del sol durante el Orto y Ocaso en los días de los Equinoccios y Solsticios.
- Generar un gráfico representando el perfil y los puntos anteriores.
- Generar una capa cartográfica en formato Shapefile con las líneas de estos puntos, centradas en el yacimiento.

Los procedimientos desarrollados permiten, de forma sencilla, disponer de información gráfica y de una capa cartográfica que se puede utilizar con cualquier herramienta GIS, en la que quedan delimitadas la orientación de fenómenos astronómicos visibles desde el yacimiento con relación a este. Esta, se puede integrar con el resto de capas del yacimiento y del terreno, o Servicios OGC Estándar para compararla con alineaciones del relieve. También se encuentran disponibles para publicarlos en Internet siguiendo la filosofía de los IDE.

La segunda parte de la metodología es su aplicación al análisis de las variable astronómicas. Para realizarlo se ha utilizado un software programado en lenguaje Python cuyo output es una capa vectorial de formato shape la cual puede contrastarse con el Modelo Digital de Elevaciones (MDE) para calcular las orientaciones astronómicas. Esta capa de información astronómica se ha realizado teniendo en cuenta la teoría planetaria DE406 JPL, correcciones de precesión y el terreno donde se encuentra el yacimiento arqueológico.

Como punto de partida se necesita conocer el perfil del horizonte que se observa desde el punto que queremos medir, en nuestro caso el yacimiento arqueológico. Para reconstruir el perfil del horizonte se ha utilizado el MDE. Se trata de un archivo que representa digitalmente la superficie del terreno, para cada pareja

de coordenadas X, Y viene dado un valor Z de la altura. Existe múltiples fuentes para construir un MDE aunque las más comunes son las misiones satelitales SRTM y GETOPO30 (NASA, 2000). Estos proyectos permiten un acceso libre a los datos para construir Modelos Digitales de Elevación para cualquier parte del mundo y con diferentes resoluciones espaciales. A partir de estos archivos y la posición del observador, es posible reconstruir el perfil del horizonte utilizando un Sistema de Información Geográfica.

El siguiente paso es computar los puntos que sobre el horizonte marcan la salida y la puesta del sol para determinados eventos astronómicos, tales como eventos solsticiales y equinocciales. Para generalizar el cálculo, con la mayor exactitud posible, de estos valores para cualquier coordenada temporal hemos implementado el siguiente algoritmo:

- Aplicación de la corrección por precesión.
- Determinación de la fecha del orto helíaco.
- Aplicación de la corrección por refracción.
- Cálculo del acimut del orto solar.

Con la intención de integrar los dos tipos de información, Arqueológica y Astronómica, se ha desarrollado el siguiente procedimiento:

1. Cálculo, con el uso de software astronómico clásico, de las posiciones de los objetos celestes, teniendo en cuenta factores como la precesión.
2. Generación de efemérides bajo petición en tiempo real o de efemérides almacenadas y servidas como conjuntos de datos según necesidad. Estas efemérides son independientes del lugar de observación.
3. Después, teniendo en cuenta la posición del lugar de observación (yacimiento), se realizan las correcciones que incluyen los factores locales como la refracción atmosférica y el cálculo de las condiciones locales.
4. Estas efemérides en formato vectorial -líneas, polilíneas y polígonos- pueden ser almacenadas en geobases de datos. También es posible generar archivos de formato shape que pueden ser añadidas al SIG arqueológico.

5. A partir de la información almacenada en la base de datos, se sirve online una capa completa de datos astronómicos y arqueológicos vía servicios WMS o WFS.

### 4.3.3. Resultados

Para realizar los cálculos astronómicos hemos considerado una fecha media del 4.000 a. C., dado que la época de los yacimientos estudiados se extiende entre el neolítico y calcolítico y hemos estudiado solamente los eventos solares. En la tabla 4.7 podemos ver los fenómenos tratados y los ángulos acimutales que explicaremos en cada de los yacimientos.

| EVENTO ASTRONÓMICO                          | ACIMUT |
|---|--------|
| ORTO SOLSTICIO DE VERANO (SSSR)             | 57°    |
| ORTO EQUINOCCIO PRIMAVERA/OTOÑO (SESR/AESR) | 89°    |
| ORTO SOLSTICIO DE INVIERNO (WSSR)           | 120°   |
| OCASO SOLSTICIO DE VERANO (SSSS)            | 302°   |
| OCASO EQUINOCCIO DE PRIMAVERA (SESS)        | 270°   |
| OCASO EQUINOCCIO DE OTOÑO (AESS)            | 271°   |
| OCASO SOLSTICIO DE INVIERNO (WSSS)          | 231°   |

**Tabla 4.7:** *Resumen de alineamientos de los yacimientos estudiados*

#### 4.3.3.1. Moreiros

El perfil del horizonte para el yacimiento de Moreiros se puede ver en la figura 4.87. No se aprecian marcadores topoastronómicos en el horizonte local para los eventos solares equinocciales y solsticiales. De hecho, en este caso, los puntos que marcan las salidas y las puestas de los eventos solares caen a los lados de la estructura montañosa que predomina en la zona. Por ello, no parece hubiese un punto relevante en el horizonte como marcador astronómico para los eventos solares.

En este yacimiento aparecen dos orientados a varios elementos del recinto (figura 4.88) hacia la salida del Sol en el Solsticio de Invierno. Quizá el más claro sea en el recinto interior que coincide una estructura que resalta sobre el resto y que bien podría ser una puerta (1), también es interesante hacer notar que la estructura anular



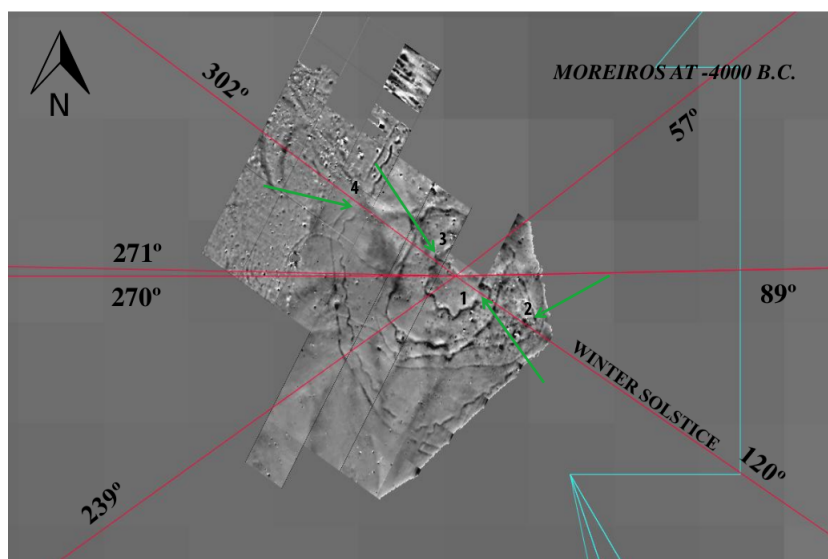
**Figura 4.87:** Perfil del horizonte para Moreiros en el año 4.000 a.C. Ortos en azul y ocasos en verde.

que queda dentro de los dos fosos exteriores apunta claramente hacia esta dirección (2). Los puntos (3) y (4) son homológamente interesantes en la puesta del Sol en el Solsticio de Invierno, si bien en este caso son menos claros, sobre todo por la falta de claridad en la imagen que proporciona la geofísica. En el punto (3) apunta hacia otra posible estructura a comprobar y el último punto (4) también se aprecia que el foso en esa zona se hace más puntiagudo como queriendo apuntar a esa dirección aunque de forma mucho menor que en el punto (2) donde es muy claro.

#### 4.3.3.2. Santa Vitória

Santa Vitória tampoco parece tener ningún punto destacable en el horizonte (figura 4.89), en relación con el caso solar, aunque en la rugosidad del terreno parece más uniformemente distribuida que en el caso de Moreiros.

En cuanto a su situación sobre la planimetría del yacimiento la entrada del recinto se encuentra claramente orientada hacia la salida del Sol en el Solsticio de Verano, en este caso no aparece el Solsticio de Invierno como un punto de relevancia en el yacimiento. Ver figura 4.90.



**Figura 4.88:** Estudio arqueoastronómico de Moreiros en el año 4.000 a. C. Como se puede ver se ha tenido en cuenta el paisaje y la topografía.

#### 4.3.3.3. Monte do Olival I

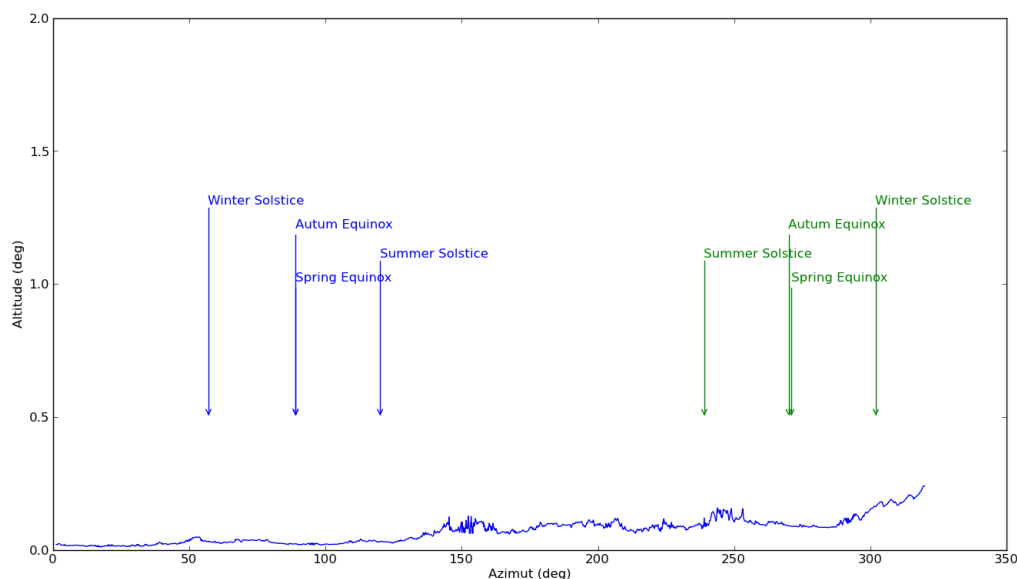
En Monte Olival I no se ha realizado ningún cálculo debido a la imposibilidad de usar una imagen que permitiera obtener alguna conclusión sobre los alineamientos. En la figura 4.91 podemos observar la cuenca de visibilidad del yacimiento, es decir, el terreno que permite cubrir la vista desde donde se encuentra ubicado el sitio arqueológico, obviamente teniendo en cuenta la topografía del terreno.

#### 4.3.3.4. Outeiro Alto

En el caso de Outeiro Alto de nuevo tenemos un claro alineamiento de la puerta del recinto (figura 4.92) hacia la salida del Sol en el Solsticio de Invierno.

#### 4.3.3.5. Xancra

El caso del sitio arqueológico de Xancra es quizás el más espectacular ya que todas las puertas están orientadas hacia el orto en el solsticio de verano, parece corroborar la orientación que aparece a siempre vista uniando las diversas puertas de los diferentes recintos. Lo podemos ver claramente en la figura 4.94. En cuanto al



**Figura 4.89:** Perfil del horizonte para Santa Vitória en el año 4.000 a.C. Ortos en azul y ocasos en verde.

estudio (figura 4.93) realizado del horizonte local tampoco podemos decir que haya ningún punto de referencia reseñable.

Por último se adjunta la cuenca de visibilidad del yacimiento en la figura 4.95.

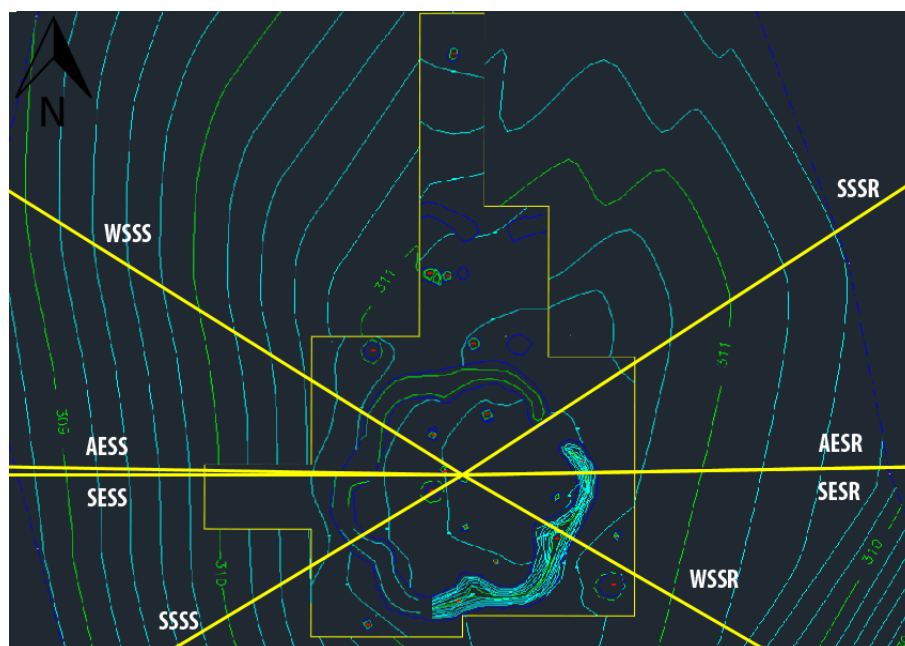
#### 4.3.3.6. Perdigões

Por último, el complejo arqueológico de Perdigões. Se aprecia el alineamiento casi perfecto hacia el orto solar durante los equinoccios, es decir, se encuentra orientado perfectamente orientado hacia el este. Desafortunadamente no se puede decir nada sobre el orto del sol en el Solsticio de Invierno ya que no se poseen datos geofísicos en esa zona, no parece que el Solsticio de Verano tenga relevancia en este yacimiento.

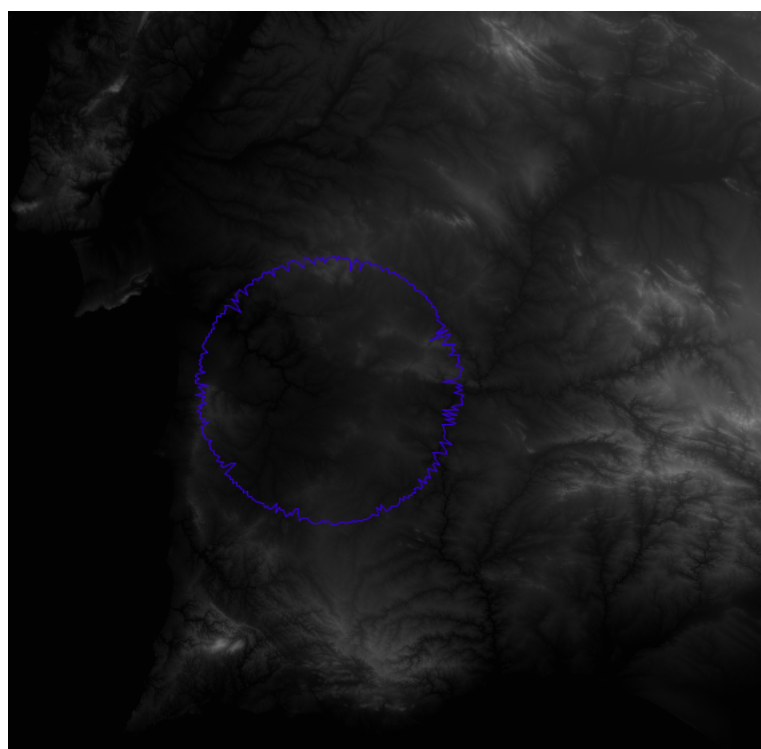
Para el estudio topoastronómico en este caso sí parece haber un punto de interés, se trata del punto del horizonte donde el sol se encuentra en el ocaso durante el solsticio de verano. Si bien la elevación del terreno es leve, parece indicativa.

En este caso también se adjunta la cuenca de visibilidad.





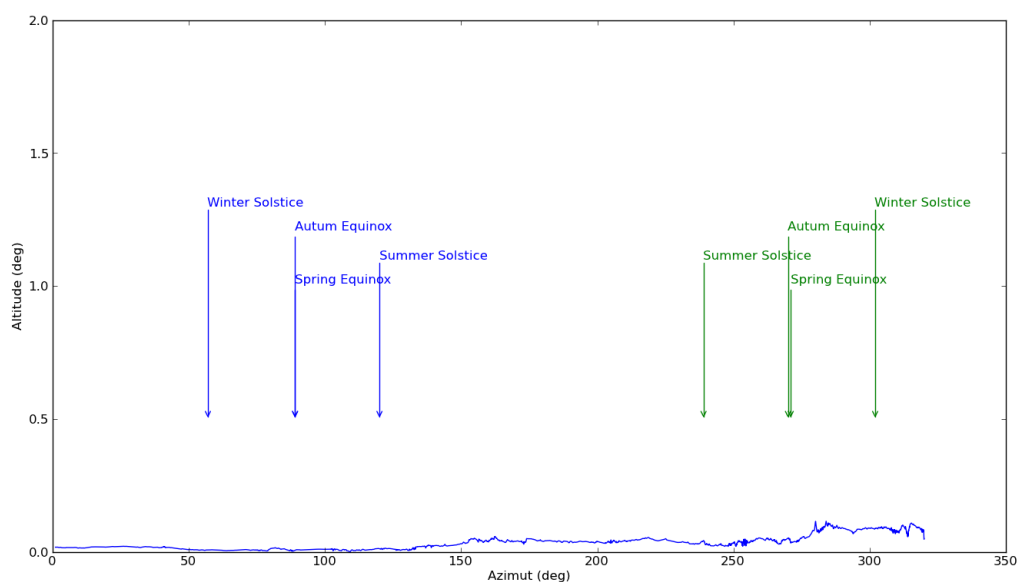
**Figura 4.90:** Estudio arqueoastronómico para Santa Vitória en el año 4.000 a.C.



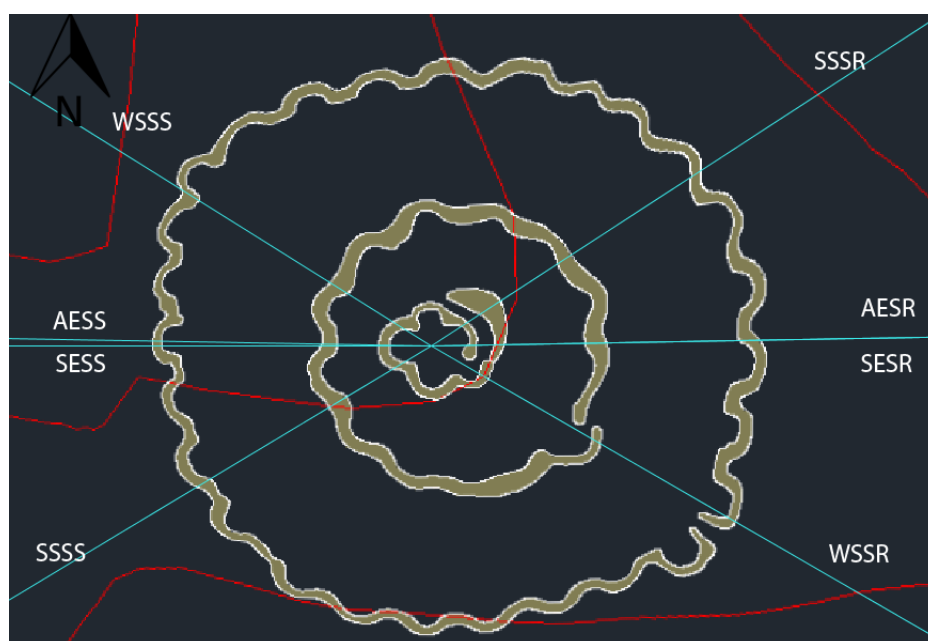
**Figura 4.91:** Cuenca de visibilidad en el caso de Monte do Olival I



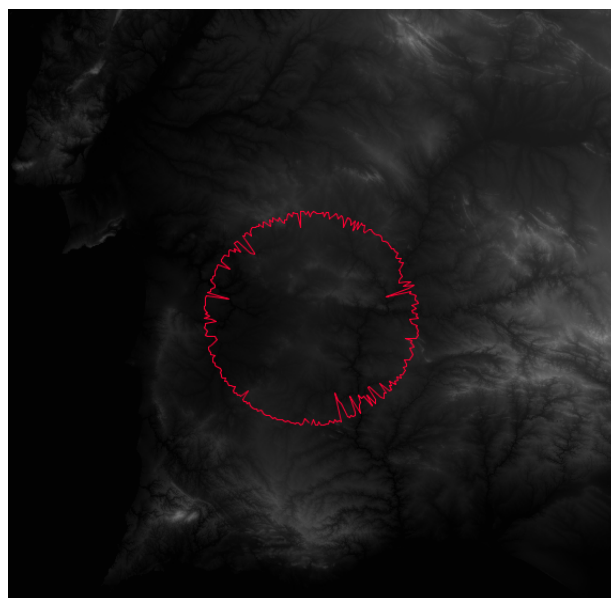
**Figura 4.92:** Estudio arqueoastronómico sobre la planimetría del sitio arqueológico de Outeiro Alto para el año 4.000 a. C.



**Figura 4.93:** Estudio del horizonte local del yacimiento de Xancra para el año 4.000 a. C.



**Figura 4.94:** Líneas solsticiales y equinocciales del sitio arqueológico de Xancra para el año 4.000 a. C.



**Figura 4.95:** Cuenca de visibilidad del yacimiento de Xancra

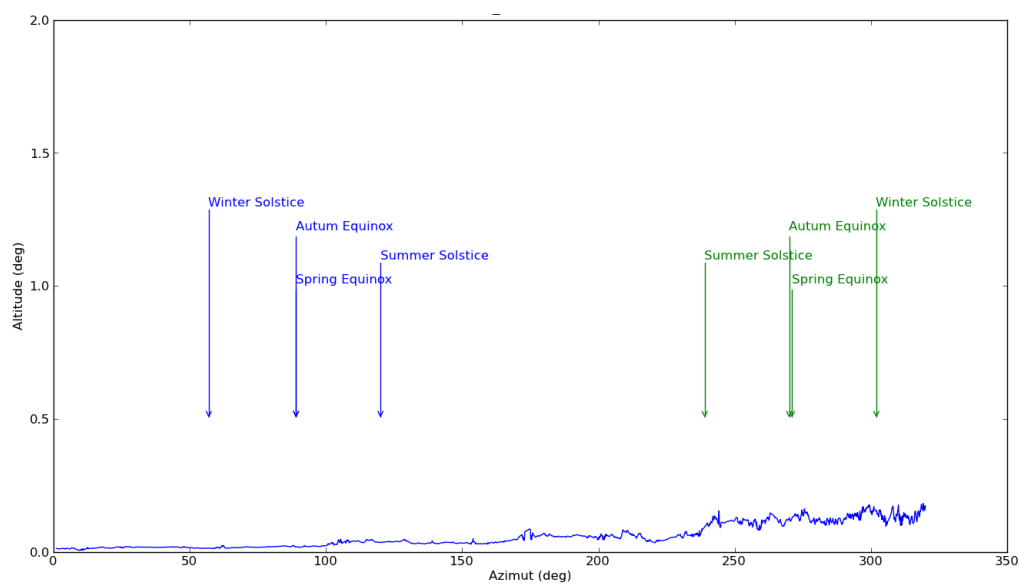


Figura 4.96: Perfil del horizonte local para el yacimiento de Perdigões

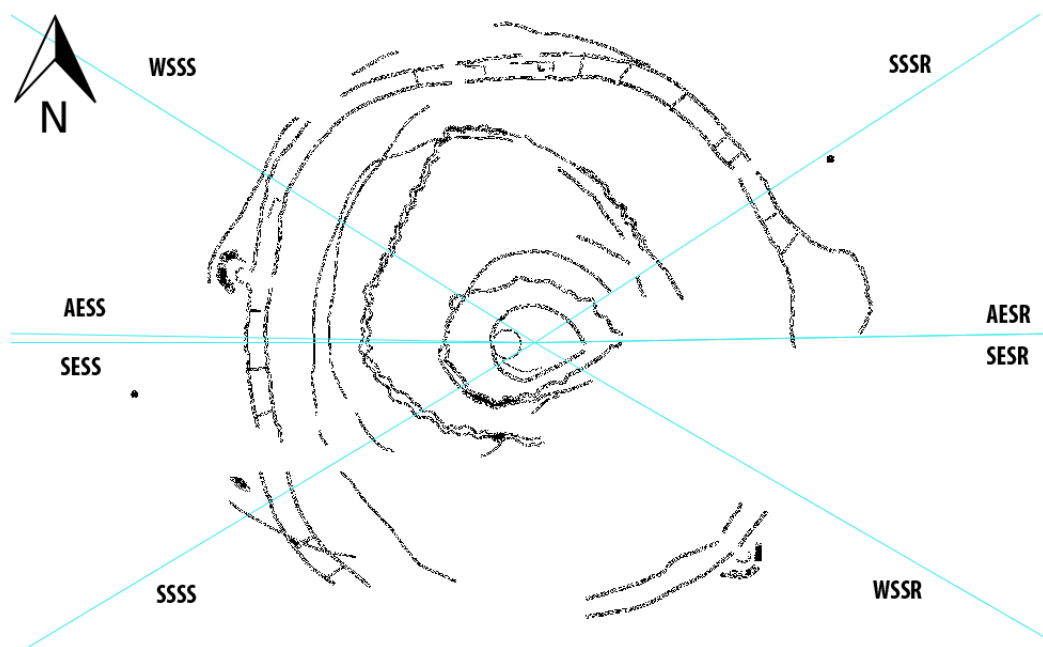


Figura 4.97: Líneas equinocciales y solsticiales para el yacimiento de Perdigões en el año 4.000 a. C.

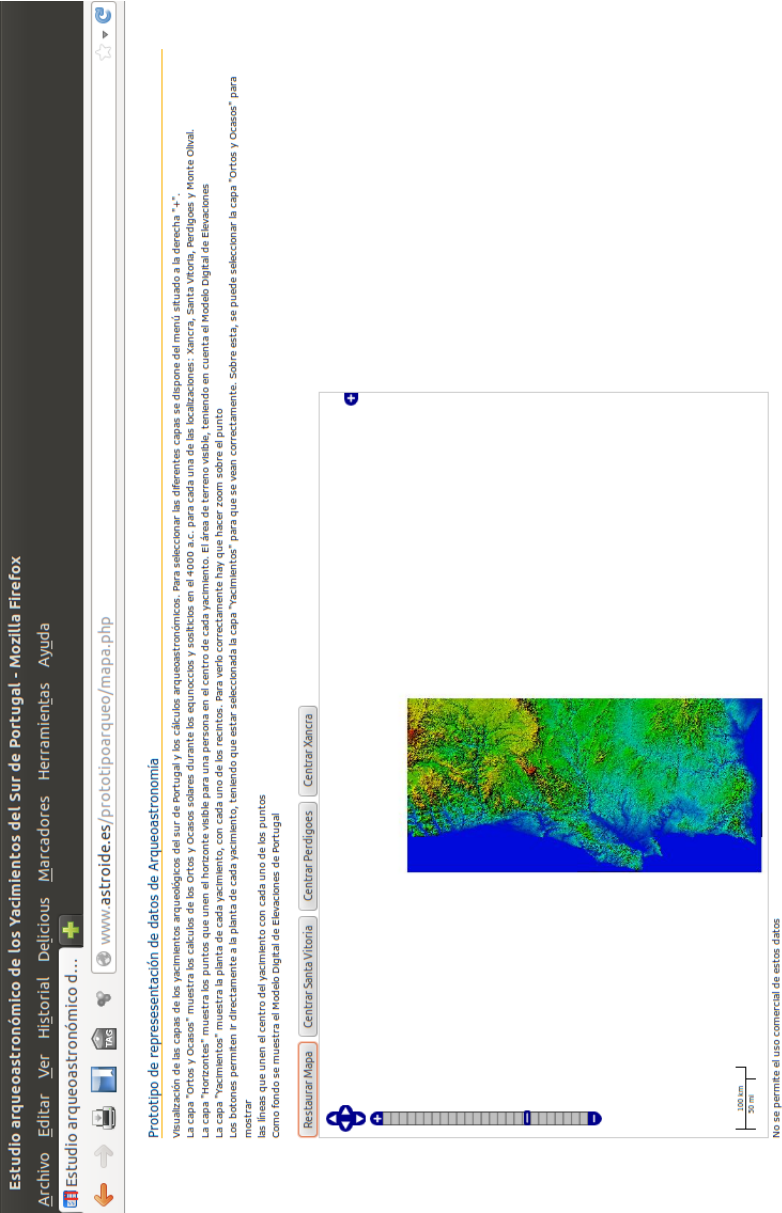


Figura 4.98: Prototipo de presentación de datos arqueoastronómicos mediante servidor web en una IDE

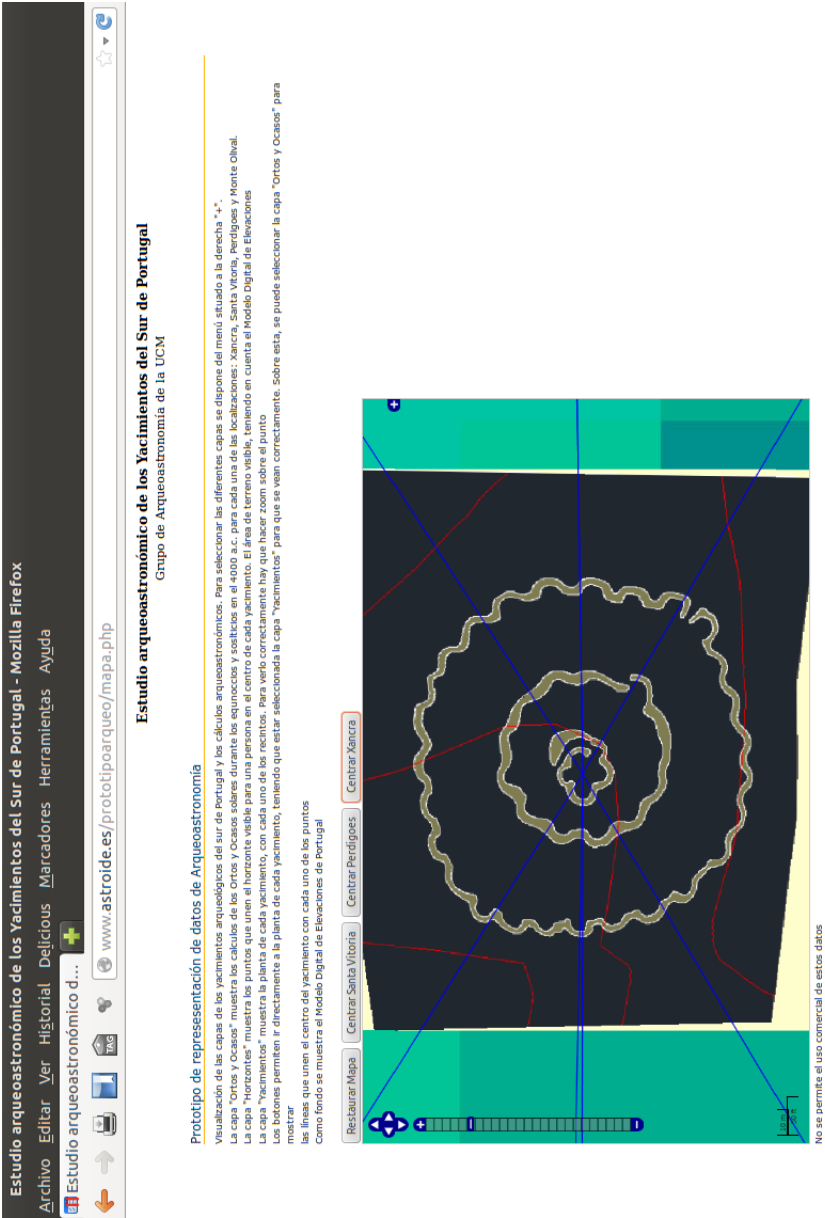


Figura 4.99: Ejemplo de producto final de una IDE arqueoastronómica disponible online

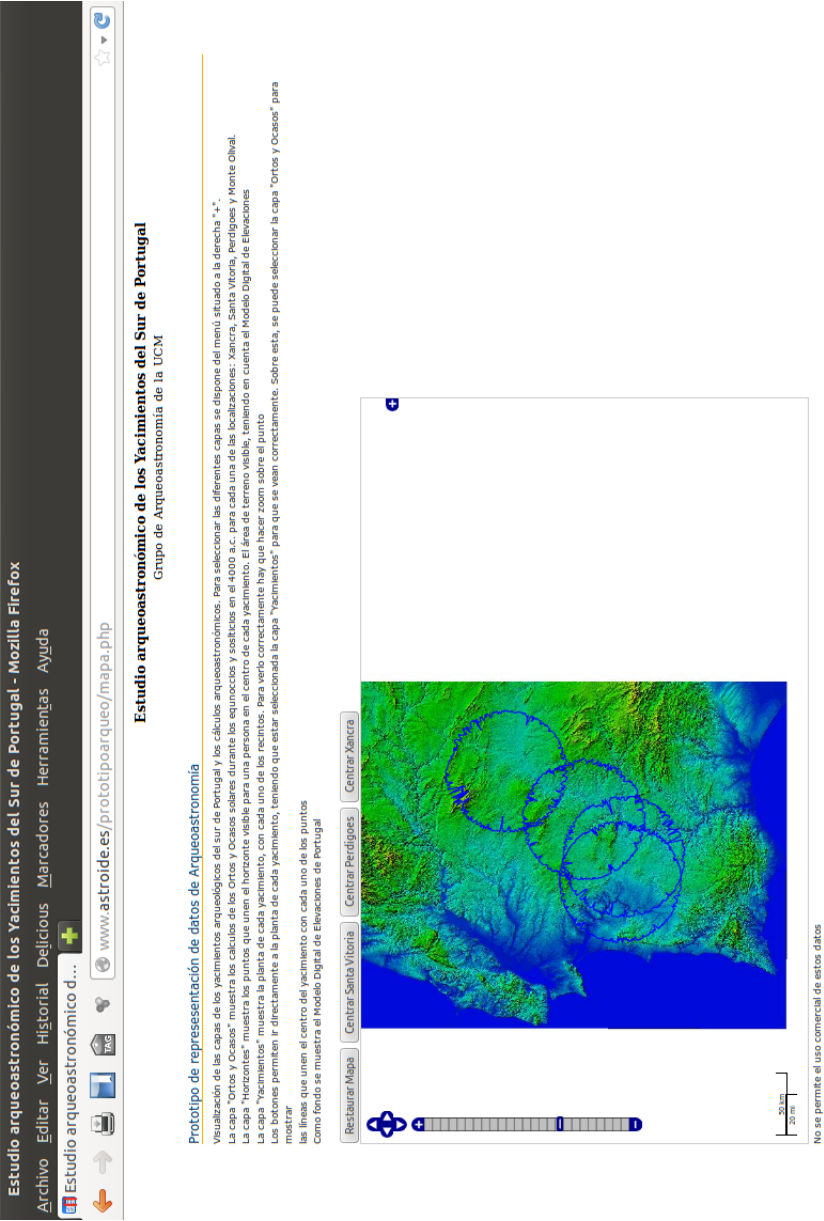


Figura 4.100: Cuencas de visibilidad como producto de una IDE arqueoastronómica disponible online

A la vista de los resultados podemos concluir, sin ninguna duda, que los yacimientos estudiados han sido diseñados intencionalmente para estar orientados al menos a un evento solar anual, equinoccial o solsticial. En varios casos el estado de los yacimientos o la falta de datos geofísicos en diferentes zonas no nos permiten llegar más lejos pero los datos obtenidos son realmente significativos y constituyen por si mismo una prueba suficiente.

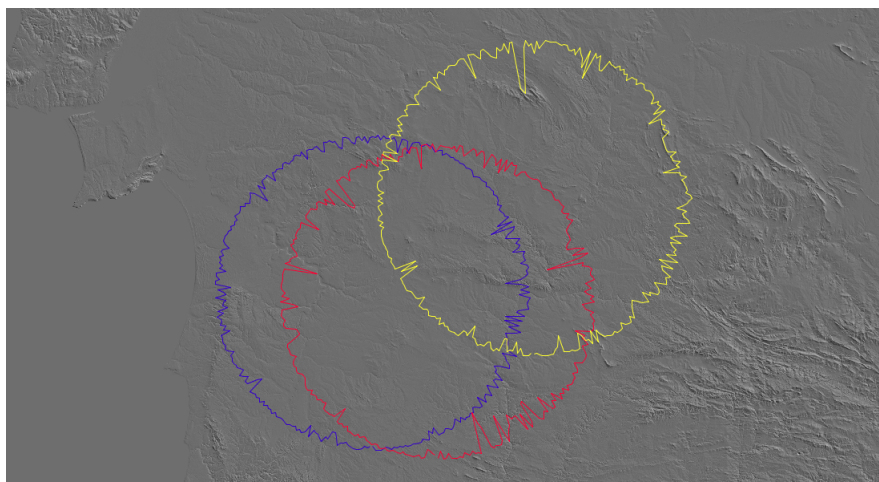
| Nombre Yacimiento | WSSR | SSSR | AESR/SESR | Horizonte |
|-------------------|------|------|-----------|-----------|
| Moreiros          | SI   | NO   | NO        | NO        |
| Santa Vitória     | NO   | SI   | NO        | NO        |
| Monte do Olival I | —    | —    | —         | —         |
| Outeiro Alto      | SI   | NO   | NO        | NO        |
| Xancra            | SI   | NO   | NO        | NO        |
| Perdigões         | NO   | NO   | SI        | SI        |

**Tabla 4.8:** Resumen de alineamientos de los yacimientos estudiados

En el caso de Xancra, Outeiro Alto y Moreiros -cuya tipología parece similar a los fosos ondulados y la época en las que se han datado- el estudio arqueoastronómico confirma que deben pertenecer a la misma época y mismo mundo simbólico. Otro punto interesante, como puede verse en la figura 4.101, es que los yacimientos de Monte do Olival I, Perdigões y Xancra están ubicados en una zona especialmente plana de la orografía consiguiendo una máxima cuenca de visibilidad (modelo circular), al contrario que en el caso del yacimiento de Perdigões, y buena intervisibilidad entre los tres sitios arqueológicos citados, lo cual puede significar una interrelación social entre los diferentes yacimientos.

También aparece un nuevo alineamiento en el yacimiento de Perdigões orientado hacia el equinoccio, es uno de los casos donde nos gustaría obtener más datos en la parte sureste ya que es muy posible que también encontrásemos una orientación hacia el orto en el Solsticio de Invierno. Este alineamiento es especialmente interesante ya que solo se constata en la parte más antigua del yacimiento y no se vuelve a repetir de nuevo en las fases posteriores. En un lugar como Perdigões, donde el periodo de ocupación es tan extenso, esto parece reflejar un cambio de mentalidad de los diferentes usuarios.





**Figura 4.101:** *Cuencas de visibilidad de Monte do Olival I (Azul), Perdigões (Amarillo) and Xancra (Rojo)*

Desde el punto de vista metodológico, las nuevas técnicas que hemos aplicado nos permiten una aproximación (topo astronómica, orientacional,...) a la percepción del cielo durante periodos de uso del lugar a lo largo de miles de años.

El método desarrollado permite de una forma simple recabar información geográfica que se puede utilizar en cualquier software SIG donde la información astronómica es otra capa más de información que puede utilizarse en cualquier proyecto arqueológico. Estas técnicas son escalables y se pueden usar en cualquier tipo de sitio arqueológico, usando los servicios estándares OGC (Open Geospatial Consortium) vía internet.

Como conclusión general, podemos decir que se percibe una relación muy fuertemente marcada entre los conocimientos de eventos astronómicos y los recintos de fosos del Alentejo portugués. Los datos que aporta este estudio arqueoastronómico proporcionan nuevos argumentos para seguir pensando en el conocimiento cosmológico de antiguas poblaciones y en el papel que el paisaje celeste tuvo en el control y aprehensión del paisaje en las diferentes organizaciones sociales de las comunidades del Neolítico y el Calcolítico.



---

## Capítulo 5

# Trabajos en preparación

---

En los trabajos que han dado lugar a esta memoria han aparecido líneas y proyectos que será interesante desarrollar en el futuro. El primero de estos proyectos tiene como título proyecto ASTROKELTOI, que se desarrolla en el contexto histórico de la celtiberia y dentro de la ruta celtibérica. El segundo trata de los recintos de fosos ibéricos dentro dle entorno continental europeo y por último un corpus de material arqueológico celtibérico interpretable desde el punto de vista astronómico.

## ASTROKELTOI

Se trata de un proyecto integral basado en técnicas geodésicas y astronómicas, para reproducir el paisaje terrestre y el espacio celeste que percibían pueblos prehistóricos y protohistóricos de la Península Ibérica. Además de la investigación estricta, se pretende integrar estos resultados en un proyecto de divulgación y puesta en valor de varios yacimientos arqueológicos ya que la vertiente social de la arqueología propicia la difusión de muchos conceptos hasta ahora solo reservados al ámbito académico.

El proyecto se centra en los yacimientos de la región histórica de la celtiberia. Apoyándonos para ello en muchos de los yacimientos que conforman la Ruta Celtibérica (ver figura 5.2), diseñada por Francisco Burillo Mozota. En la actualidad la Ruta Celtibérica es una de las Rutas Culturales Europeas y se trabaja en su inclusión dentro de la lista de Patrimonio de la Humanidad de la UNESCO. Con Astrokelttoi se pretende potenciar, por una parte, la relación entre las ciencias geodésicas y astronómicas con la arqueología y por otra, la divulgación del patrimonio cultural desde un nuevo punto de vista, como es la introducción de información sobre el

espacio celeste propio de cada entorno, es decir, la visualización del espacio celeste que tenían los antiguos habitantes de estos yacimientos arqueológicos.

Se utilizarán las técnicas de posicionamiento por satélite, las herramientas gráficas desarrolladas por el grupo de investigación en proyectos anteriores y los métodos astronómicos para lograr una ubicación precisa de los yacimientos, una reconstrucción gráfica de los mismos y su relación con el espacio celeste y el paisaje topográfico circundante.



**Figura 5.1:** Logotipo del proyecto ASTROKELTOI

Los resultados obtenidos pueden ser utilizados por los arqueólogos en dos vertientes. Una de ellas es la aplicación de los resultados obtenidos en sus investigaciones arqueológicas. Les proporcionarán más datos, en este caso la relación con el espacio geográfico y celeste, para sus conclusiones. Por otra parte este trabajo constituye una herramienta muy eficaz para divulgar los trabajos llevados a cabo por los arqueólogos al ofrecer una visión nueva de los mismos.

La divulgación del conocimiento a través de la musealización de los yacimientos arqueológicos es una de las líneas de las acciones integradas para dinamizar el crecimiento económico de áreas deprimidas y la antigua celtiberia, ocupando la totalidad del reborde oriental de la meseta, está considerada como una de las más necesitadas. Esto es también uno de los resultados esperables de este trabajo. En la

actualidad ya se realizan algunas iniciativas en esta línea, podemos resaltar la que se viene celebrando, de forma anual, desde el año 2007 en el yacimiento de Tiermes con el nombre de AstroTiermes. Durante estas jornadas se realizan actividades relacionadas con el patrimonio (natural, geológico y arqueológico), Astronomía, Arqueología y en esta última edición tuve la oportunidad de participar como conferenciante con una ponencia en torno a la Arqueoastronomía. La importancia de estas jornadas radica tanto en la divulgación de las disciplinas científicas entre el público general y niños -actividades enfocadas a los más jóvenes- como en la revitalización económica de la zona, durante estas jornadas acuden más de 150 personas de toda España.

Al enmarcarse este trabajo dentro de la Ruta Celtibérica, y discurrir esta por territorios de extrema ruralidad susceptibles de serles aplicados políticas de revitalización territorial, potenciará medidas para la protección, conservación y musealización del patrimonio arqueológico de la zona, ya se ha comentado en los medios el potencial que tiene en este sentido la ruta Celtibérica ([http://eldiadigital.es/not/15725/la\\_celtiberia\\_se\\_perfila\\_como\\_motor\\_de\\_desarrollo\\_rural/](http://eldiadigital.es/not/15725/la_celtiberia_se_perfila_como_motor_de_desarrollo_rural/)). Permitirá realizar actividades didácticas, formativas y docentes, dirigidas a escolares, bachilleres, universitarios y sociedad en general, que lleven, no sólo a la difusión de conocimientos, sino también a la sensibilización y valoración del patrimonio cultural, siendo también una buena herramienta para potenciar el turismo rural.

La elección de los yacimientos se ha realizado siguiendo dos criterios, su época y su importancia y dada la gran cantidad de ellos, se ha efectuado una primera selección (ver figura 5.2):

#### I. Celtíbero Antiguo/Pleno:

1. Poblado de El Castellar Berrueco (Zaragoza).
2. Castro El Ceremeño. Herrería (Guadalajara).
3. Necrópolis de Herrería. Herrería (Guadalajara).
4. Poblado de El Palomar. Aragoncillo (Guadalajara).
5. Castro de La Coronilla. Chera (Guadalajara).
6. Poblado de Cerro Moñuz. Olmeda de Cobeta (Guadalajara).

7. Segeda I. Belmonte de Gracián (Zaragoza).

II. Celtíbero Tardío/Romano:

1. Ciudad de Segeda II. Belmonte de Gracián (Zaragoza).

2. Oppidum de Los Rodiles. Cubillejo de la sierra (Guadalajara).

3. Numancia. Garray (Soria).

4. Tiermes. Montejo de tiermes (Soria).

Celtibero-romano:

1. La Caridad. Camineral (Teruel).

2. Poblado Alto Chacón. Teruel.

3. Ciudad de Contrebia Belaisca. Cotorrita (Zaragoza).

4. Ciudad de Arcóbriga. Monreal de Ariza (Zaragoza).

5. Ciudad de Bílbilis Itálica. Calatayud (Zaragoza).

6. Ciudad de Clunia. Peñalba de Castro (Burgos)

7. Ciudad de Uxama. Burgo de Osma (Soria).

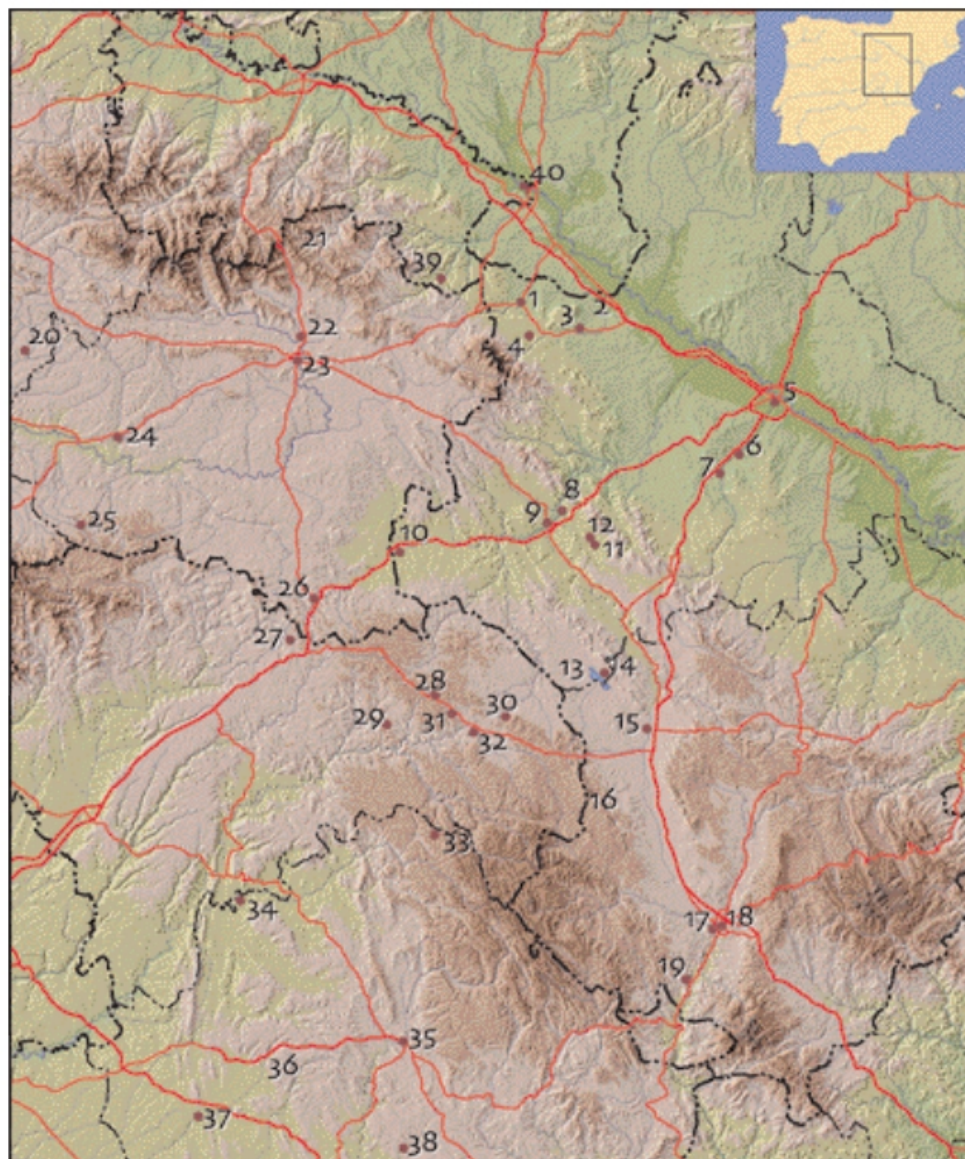
8. Ciudad de Ercávica. Cañaveruelas (Cuenca).

9. Ciudad de Segóbriga. Saelices (Cuenca).

10. Contrebia Leucade. Aguilar de Río Alhama (La Rioja).

11. Río Alhama





**Aragón:** 1.- Turlaso y Exposición permanente del CET, Tarazona. 2.- Parque arqueológico 1ª Edad del Hierro, Fréscano. 3.- Museo Arqueológico de Borja. 4.- Turiazu, Vera de Moncayo. 5.- Museo de Zaragoza. 6.- Contrebia Belaiska, Botorrita. 7.- Dique romano, Muel. 8.- Bilbilis Itálica, Calatayud. 9.- Museo de la Ciudad, Calatayud. 10.- Arcóbriga, Monreal de Ariza. 11.- Segeda II, Belmonte de Gradán. 12.- Segeda I, Mara. 13.- Poblados celtibéricos de la La Laguna de Gallocanta. 14.- El Castellar y Centro de interpretación, Berruoco. 15.- La Caridad, Caminreal. 16.- Conjunto metalúrgico celtibero-romano de Sierra Menera. 17.- Alto Chacón, Teruel. 18.- Museo Provincial, Teruel. 19.- Peñalba, Villastar.

**Castilla - León:** 20.- Gunia y Centro de interpretación arqueológica, Peñalba de Castro. 21.- Castros Sorianos. 22.- Numancia y Aula Arqueológica, Garray. 23.- Museo Numantino, Soria. 24.- Uxama y Aula Arqueológica, Burgo de Osma. 25.- Parque Arqueológico de Tordes, Montejo de Tordes. 26.- Aula Arqueológica, Medinaceli.

**Castilla - La Mancha:** 27.- Castro de Castilviejo, Cubillas del Pinar. 28.- El Palomar, Aragoncillo. 29.- Dehesa de la Olmeda, Olmeda de Cobeta. 30.- Castro de los Rodiles, Cubillejo de la Sierra. 31.- El Ceremeño, necrópolis y Aula Arqueológica, Herrería. 32.- Museo Municipal, Molina. 33.- Minería de Hierro, Cueva del Hierro. 34.- Ercavica, Cañaveruelas. 35.- Museo Provincial, Cuenca. 36.- Distrito minero de Lapis Specularis. 37.- Segobriga, Saelices. 38.- Valeria, Las Valeras.

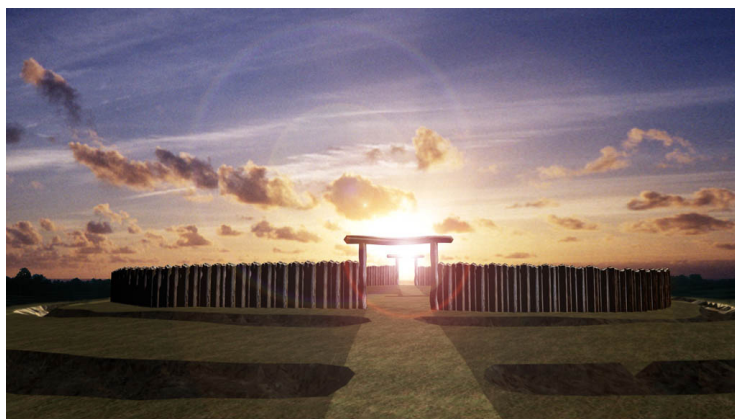
**La Rioja:** 39.- Contrebia Leukade y Centro de Interpretación, Aguiar del Río Alhama.

**Navarra:** 40.- Museo municipal, Castejón.

**Figura 5.2:** Mapa de los yacimientos que conforman la ruta celtibérica (Burillo Mozota y otros, 2008, pág.48).

## Recintos de Fosos Neolíticos Europeos

La continuación de los estudios realizados en el Alentejo portugués tiene gran interés ya que serviría para comprobar si se confirma el patrón que hemos podido observar en el contexto portugués a nivel europeo. Con ese fin hemos contactado con el investigador austríaco Wolfgang Neubauer, director del centro de investigación VIAS -que trabaja en Prospección Geofísica, geodesia y fotogrametría- de la Universidad de Viena. El motivo para contactar con estos investigadores se haya en el proyecto *ASTROSIM - Simulation of astronomical aspects of Middle Neolithic circular ditch systems* (<http://astrosim.univie.ac.at/>) que se trata de un proyecto totalmente complementario al que realizamos en el alentejo portugués y la experiencia conjunta permitirá un modelado de un gran número de yacimientos de diversos contextos temporales y geográficos.



**Figura 5.3:** Ejemplo de modelo 3D para uno de los yacimientos alemanes estudiados en el proyecto ASTROSIM.

En el proyecto aunaremos, la experiencia que tenemos en los recintos de fosos portugueses junto con las técnicas geodésicas e IDEs con los datos que nos aportan los expertos austríacos en prospección geofísica, fotogrametría y modelado 3D (figura 5.3). Sin duda será un avance trabajar en un número tan elevado de yacimientos del mismo tipo y permitirá, realizar conclusiones globales con un elevado grado de fiabilidad junto con una posibilidad de visualización realista. En estos momentos estamos preparando el texto para la petición de uno de los proyectos europeos de la siguiente convocatoria.



## Corpus de material celtibérico

Otro de las líneas interesantes de trabajo futuro es la realización de Corpus de material celtibérico interpretable astronómicamente. Aunque el material celtibérico se encuentra bastante disperso y, en ocasiones, descontextualizado sería bueno realizar el esfuerzo de filtrar el número total de piezas arqueológicas que son de interés astronómico. Con ello podríamos hacernos una mejor idea del alcance que tuvo la astronomía en la cultura celtibérica y del potencial interpretativo que tiene para la Arqueología.



---

## Capítulo 6

# Conclusiones

---

Las conclusiones de este trabajo se pueden dividir entre las de tipo metodológico y las que son de corte arqueológico. Comenzando con las del primer tipo, la parte metodológica es un importante aporte a la definición y síntesis de metodologías susceptibles de ser utilizadas en los estudios arqueoastronómicos. Dichas metodologías permiten unas precisiones que están muy por encima de los métodos que se han venido utilizando tradicionalmente en arqueoastronomía y que todavía actualmente están vigentes en la inmensa mayoría de los trabajos que se realizan en cualquier contexto cultural. También permite que los trabajos sean repetibles y falsables, incorporando siempre en los trabajos los datos medidos y la metodología exacta utilizada.

Aunque las metodologías se modifican y mejoran con el tiempo y el cambio tecnológico se produce a un ritmo vertiginoso es necesario una base desde donde partir, sin duda ello es lo que propone este trabajo. Se ha realizado especial hincapié en que lo escrito aquí pueda ser utilizado por cualquier investigador -aunque no sea un especialista- y ello permitirá su aplicación a sus estudios concretos.

En el estudio de las necrópolis de incineración se han constatado problemas en la plasmación de algunos datos. Si bien la investigación arqueológica es exhaustiva y correcta, su plasmación en las planimetrías es mejorable e impide que las conclusiones sean totalmente concluyentes. Detallando los resultados comenzaremos por la necrópolis de Can Piteu-Can Roqueta sobre la que el tratamiento de los datos arroja unos valores de  $a = -0,20 \pm 0,04$  para la pendiente y  $b = 149 \pm 3$  para la ordenada en el origen. El valor final del acimut tras utilizar el script desarrollado para este trabajo fue de  $101^\circ 32'$ . Para el caso de la necrópolis de Les Obagues los valores

de la recta de regresión son  $a = 0,70 \pm 0,09$  para la pendiente y  $b = -1,5 \pm 8,5$  para la ordenada en el origen. El valor para el acimut nos resulta de  $55^\circ 5'$ .

Para la necrópolis de La Torraza el estudio nos arroja unos valores de  $a = -1 \pm 1$  para la pendiente y  $b = 150 \pm 40$  para la ordenada en el origen. Aplicando el programa desarrollado para este fin, aparece un valor para el acimut de  $139^\circ 27'$ . El siguiente sitio arqueológico es el de la Colomina, con valores  $a = -0,1 \pm 0,2$  y  $b = 83 \pm 20$ . Aplicando de nuevo el script desarrollado aparece un valor para el acimut de  $123^\circ 23'$ . Siguiendo con Can Missert, los correspondientes valores son  $a = 0,33 \pm 0,05$  para la pendiente y  $b = 5 \pm 4$  para la ordenada en el origen. El valor para el acimut es de  $71^\circ 52'$ .

Can Bec de Baix-Agullana nos arroja unos valores de los parámetros de la recta de regresión son  $a = 0,09 \pm 0,03$  para la pendiente y  $b = 70 \pm 4$  para la ordenada en el origen. El valor  $57^\circ 37'$  corresponde en este caso al acimut. El mapa de la siguiente necrópolis, Molá, es muy completo y con gran cantidad de puntos pero muy dispersos, se demuestra estadísticamente con el bajo parámetro de ajuste,  $r^2 = 0,00298$ . Los valores de pendiente y ordenada en el origen son en este caso  $a = -0,05 \pm 0,07$  y  $b = 99 \pm 12$ , el ángulo acimutal de  $124^\circ 51'$ .

La necrópolis de La Mercadera presenta valores de  $a = -0,20 \pm 0,08$  para la pendiente y  $b = 99 \pm 7$  para la ordenada en el origen. Su acimut es de  $177^\circ 44'$ . Y, por último, la necrópolis de Numancia presenta también un parámetro de regresión muy bajo ( $r^2 = 0,0697$ ) a pesar de que el mapa de la necrópolis es probablemente el más completo, con un número muy alto de puntos pero muy dispersos, para este caso la pendiente es  $a = 0,17 \pm 0,05$  y la ordenada en el origen  $b = 63 \pm 11$ . El acimut que nos resulta el estudio de la necrópolis numantina es de  $50^\circ 14'$ .

En cuanto al comportamiento estadístico que presentan las diferentes necrópolis solamente en el caso de Les Obagues el parámetro de ajuste se acerca a uno ( $r^2 = 0,83081$ ), y ello a pesar de que el número de puntos es menor. En cambio, para los otros yacimientos en el que el número de tumbas es mayor no sobrepasa el 0.1.

Recordemos que para este trabajo se ha tomado como referencia la necrópolis de incineración de Herrería y los interesantes resultados que arrojaron los trabajos arqueoastronómicos que se llevaron a cabo. Según estos trabajos el eje de la necrópolis de Herrería estaría dispuesto hacia la dirección que marca la posición lunar en su parada mayor, es decir, en el momento en el que su declinación es mayor, es más visible y pasa el mayor tiempo sobre el horizonte. Con la intención de encontrar un

patrón cultural en las necrópolis de incineración celtibéricas se continuó el estudio detallado de los principales exponentes, en las provincias de Guadalajara y Soria, entre el conjunto total de yacimientos de este tipo.

Por desgracia, nos encontramos con dificultades metodológicas, en su mayoría, que han imposibilitado realizar un estudio todo lo exhaustivo que hubiera sido deseable. Entre estos problemas metodológicos se encuentran coordenadas erróneas, inexistencia de material topográfico que muestre la disposición espacial de las tumbas dentro del espacio necropolitano. Estos problemas ponen en valor los trabajos interdisciplinarios en arqueología, que evitarían este tipo de incongruencias en los datos espaciales. A pesar de todo ello se han podido utilizar para el estudio las necrópolis de Mol, Les Obagues, La Torraza, La Colomina, Can Piteu-Can Roqueta, Can Missert, Agullana, La Mercadera y Numancia.

Si comprobamos los valores del acimut para las necrópolis de La Mercadera y Numancia, por ejemplo, siendo respectivamente  $177^{\circ}44'$  y  $50^{\circ}14'$  y los comparamos con los valores de eventos astronómicos de la tabla 4.6 se puede apreciar que no se corresponde con los acimuts de la parada mayor lunar para ninguna de las necrópolis. La diferencia es de unos  $87^{\circ}$  para La Mercadera y el orto lunar en su parada mayor y de  $29^{\circ}$  en el ocaso lunar en el mismo evento.

Siguiendo esa línea de análisis, la desviación para la necrópolis de Numancia es de  $40^{\circ}$  en el orto lunar en su parada mayor y de  $156^{\circ}$  en el ocaso lunar en la parada mayor. Tampoco en los eventos solsticiales parece haber mejor correspondencia, en los que las diferencias son de  $86^{\circ}$  para el orto en el solsticio de invierno y de  $32^{\circ}$  aproximadamente en el ocaso, en el caso del solsticio de verano, las diferencias son de  $151^{\circ}$  y  $95^{\circ}$  respectivamente en el caso de La Mercadera. En el caso de la necrópolis de Numancia las diferencias correspondientes son:  $41^{\circ}$ ,  $159^{\circ}$  en el orto y ocaso del solsticio de invierno y  $24^{\circ}$  y  $222^{\circ}$  en el orto y ocaso del solsticio de verano. En todos los casos una desviación muy por encima del error posible que puede ser atribuido al error humano a la hora de orientar los ejes necropolitanos. Tampoco puede ser atribuida a la metodología empleada por los pueblos de la Edad del Hierro o de finales de la Edad del Bronce para orientar y planificar los enterramientos.

Tampoco es atribuible a estos errores los  $10^{\circ}$ ,  $108^{\circ}$  y  $75^{\circ}$ ,  $171^{\circ}$  de diferencia en ortos y ocasos de los eventos solsticiales de invierno y verano en la necrópolis de Can Piteu-Can Roqueta, mientras que en la parada mayor lunar la diferencia es de  $11^{\circ}$  y  $105^{\circ}$  respectivamente en el orto y el ocaso. Los valores equivalentes para

Les Obagues son: 36°, 154°; 29°, 217°; 35° y 151°. Para el recinto necropolitano de La Torraza los valores son: 48°, 70°; 113°, 133°; 49° y 67°. Para la necrópolis de La Colomina: 32°, 86°; 97°, 149°; 97° y 83°. Siguiendo con la necrópolis de Mol los valores son: 33°, 85°; 98°, 148°; 34° y 82°.

Terminando este repaso restan las necrópolis de Can Missert y Can Bec de Baix-Agullana. En el primer caso los valores son: 20°, 138°; 45°, 201°; 19° y 135°. En el segundo y último caso de Can Bec de Baix-Agullana: 34°, 152°; 31°, 215°; 33° y 149°.

Si atendemos a los valores de forma global podemos fijarnos en la amplia variación de los valores individuales con respecto a los eventos astronómicos y la dispersión de los mismos. Para el orto en el solsticio de invierno tenemos un valor mínimo de 10° y un valor máximo de 86° con una media  $\langle WSSR \rangle = 37.7^\circ$ , para el ocaso del mismo evento el valor mínimo es de 32° y el máximo de 159° con una media que resulta  $\langle WSSS \rangle = 116.7^\circ$ . Para el solsticio de verano en el orto tenemos un valor mínimo de 29° y un valor máximo de 151° y la media de los valores  $\langle SSSR \rangle = 73.6^\circ$ , para el ocaso igualmente un valor mínimo de 95° y un valor máximo de 222° con una media resultante de  $\langle SSSS \rangle = 172.3^\circ$ .

Para la parada mayor lunar se produce el mismo fenómeno de gran variación y dispersión de los valores. En el orto tenemos un valor mínimo de 11° y un valor máximo de 87°, la media en este caso  $\langle LMSR \rangle = 45^\circ$ . Para el ocaso los valores mínimo 29° y máximo 156° y el valor medio  $\langle LMSS \rangle = 106.3^\circ$ .

Todos estos valores descartan la posibilidad de que las necrópolis de incineración de la Edad del Hierro se encuentren orientadas de forma intencionada hacia la parada mayor lunar, tanto en el ocaso como en el orto en la parada mayor lunar como en los eventos solsticiales solares. Lo mismo ocurre para las necrópolis de finales de la Edad del Bronce en las que no parece que exista ninguna orientación intencionada de la disposición de las tumbas en los recintos necropolitanos ni para eventos lunares como solares. No se confirma, por lo tanto, el patrón lunar que se advirtió en la necrópolis de Herrería.

Por otro lado, debemos concluir que es necesario hacer todo lo posible para evitar que los nuevos estudios que contengan un punto de vista geográfico en Arqueología no vuelvan a contener unos datos georreferenciados insatisfactoriamente. Para ello, a parte de incluir en los planes de formación de arqueólogos temas específicos (a los que me he unido debido a la oportunidad de impartir docencia en el recientemente creado grado de Arqueología) parece recomendable realizar proyec-

tos conjuntos e interdisciplinarios que no multidisciplinarios que permitan incluir las nuevas tecnologías de la información geográfica en los futuros trabajos.

Los estudios que realicé en Portugal se centraron en varios yacimientos de época neolítica y calcolítica que no han sido excavados, pero de los que se quería obtener información previa a la excavación. Por ello, desarrollamos una metodología de trabajo que nos permitiera obtener conclusiones en yacimientos no excavados partiendo de datos geográficos y magnéticos. Estos trabajos representan otra de las aportaciones metodológicas a los trabajos arqueoastronómicos, ya que por primera vez se aplica las infraestructuras de Datos Espaciales a la Arqueoastronomía y su éxito e interés son innegables. La metodología aquí mostrada nos permite incursionar en el uso de la Astronomía en diferentes periodos durante miles de años y los cambios que sufrió la mentalidad y los intereses sociales desde un punto de vista astronómico. Es un método completamente no invasivo y que posibilita un estudios topoastronómicos, orientacionales, etcétera.

Por ejemplo, en el yacimiento de Moreiros no se aprecian marcadores topoastronómicos en el horizonte local para los eventos solares equinocciales y solsticiales. De hecho, el único yacimiento que podría tener un marcador en el horizonte es el de Perdigões aunque la posibilidad es bastante remota. Siguiendo con Moreiros, aparecen en él orientaciones de diversos elementos del recinto. En particular orientaciones a la salida del Sol en el Solsticio de Invierno. El que aparece con mayor claridad es el que aparece en el recinto más interior en el que coincide con una estructura que resalta sobre el resto y que bien según todos los indicios sería una puerta de entrada al recinto. Asimismo la estructura anular que queda dentro de los dos fosos exteriores apunta claramente en esta misma dirección. Existen también puntos equivalente que apuntan a la puesta del Sol en el Solsticio de Invierno, si bien en este caso son menos claros, sobretodo por falta de datos geofísicos en esta zona.

En Santa Vitória el estudio topoastronómico tampoco parece evidenciar ninguna referencia en el horizonte. Su entrada se encuentra -con una gran certeza- orientada hacia la salida del Sol en el Solsticio de Verano. En Outeiro Alto tenemos, de nuevo, un claro alineamiento de una puerta del recinto hacia la salida del Sol en el Solsticio de Invierno.

Xancra proporcionó el resultado más espectacular ya que todas las puertas están orientadas hacia el orto en el solsticio de verano, corroborando la orientación

que aparece a simple vista uniendo las diversas puertas de los diferentes recintos y épocas de habitación.

En el complejo arqueológico de Perdigões aparece un alineamiento increíblemente preciso hacia el orto solar durante los equinoccios, orientado hacia el este por lo tanto. Hemos comentado que es el único de los yacimientos estudiados que puede poseer un marcador en el terreno según muestra el estudio topoastronómico, se trata del punto del horizonte donde el sol se encuentra en el ocaso durante el solsticio de verano. Es muy posible que también exista una orientación hacia el orto en el Solsticio de Invierno. Este alineamiento es especialmente interesante ya que solo se haya en la parte más antigua del yacimiento y no se vuelve a repetir de nuevo en fases posteriores. En un yacimiento donde el periodo de ocupación es tan extenso podría significar fácilmente un reflejo de un cambio de mentalidad y simbólico a nivel social.

Desde un punto de vista general, independientemente de cada yacimiento por separado podemos cierto patrones que agrupan a varios de ellos. En particular, el caso de Xancra, Outeiro Alto y Moreiros -cuya tipología parece similar dados sus fosos ondulados y la época en las que los data la Arqueología- el estudio arqueoastronómico confirma que deben pertenecer a la misma época y mismo mundo simbólico debido a la coincidencia de alineamientos astronómicos. Los yacimientos de Monte do Olival I, Perdigões y Xancra han sido ubicados en una zona especialmente plana de la orografía portuguesa consiguiendo una máxima cuenca de visibilidad (modelo circular) -al contrario que en el caso del yacimiento de Perdigões- y una intervisibilidad y, por lo tanto, una posible relación entre los tres sitios arqueológicos citados.

Es muy claro que todos los yacimientos estudiados presentan un diseño intencionado de construcción así como una elección intencionada de la zona de habitación y construcción de los recintos de fosos. Existe poca duda de que han sido diseñados intencionalmente para estar orientados al menos a un evento solar anual, equinoccial o solsticial. Aunque en algunos casos el estado de los yacimientos o la falta de datos geofísicos en diferentes zonas no nos permiten llegar más lejos en las conclusiones, podemos concluir con la suficiente significación lo comentado en las líneas anteriores.

Como conclusión general podemos decir que existe un relación muy fuertemente marcada entre los conocimientos astronómicos y los recintos de fosos en el



Alentejo portugués. Los datos que aporta este estudio arqueoastronómico dan nuevos argumentos para el estudio del papel de los recintos en la gestión de la muerte, fundamentos cosmológicos de su diseño en diferentes y amplios periodos de tiempo y el papel de la astronomía en el control y aprehensión del paisaje en las diferentes organizaciones sociales de las comunidades del Neolítico y el Calcolítico.

Otra de las aportaciones de esta Tesis es el trabajo realizado sobre el posible santuario celtibérico de Castilmocho, en el que aún no se han realizado trabajos arqueológicos. Todo parece indicar que además de un, más que probable santuario, aparecen pruebas de que pudo haberse utilizado como lugar de observación y marcador de tiempos y espacios para la cultura celtibérica. Prueba de ello es el número de cazoletas que aparecen en la cima del santuario, un total de 29 que se interpreta como un contaje que representa el mes sinódico, de importancia vital en agricultura, ganadería e incluso para conocer los ciclos de fertilidad humana.

Además de este ciclo lunar se demuestra que se utilizó el paisaje como forma de controlar el tiempo y como marcador para fijar fechas importantes dentro del calendario lunar y luni-solar celta. Prueba de ello son el alineamiento entre el rebaje que aparece en la roca en la que se sitúa el abrigo donde aparece el primer grupo de cazoletas de los tres que se ubican en el santuario. Este alineamiento ocurre solamente en el mes de Mayo, Beltaine para los celtas.

Igualmente el orto lunar coincide con el extremo Sur de la roca donde se encuentra el abrigo ocurre exactamente un mes después y su orto en el extremo Norte de la misma roca coincide con el 20 de Mayo, 9 días -coincidente con uno de los números de cazoleta que aparecen en el punto de observación- después de que la luna llena coincida con el rebaje en la roca anteriormente conectada. Finalmente, el ocaso lunar puede verse el 29 de Mayo, al final del mes de Beltaine desde el abrigo donde se encuentra el primer grupo de cazoletas coincidente además con un marcador del territorio en el horizonte.

Este continuo interés por el mes de Mayo tiene una motivación cultural. El mes de Beltaine para el tradicional calendario lunar y luni-solar celta es el mes de la festividad con el mismo nombre. Es el fin del semestre sombrío celta y el comienzo del luminoso, en esta época durante la noche se realizaban grandes fuegos que representaban este paso anual y se hacían pasar a los animales entre los fuegos como rito de fertilidad para el nuevo período.

Hay una gran probabilidad de que la roca pudiera ser utilizada como marcador de la fecha exacta que se celebraba este cambio en la Celtiberia, justo en el momento en el que la luna llena cubría la marca de la roca sobre el abrigo. Todo parece indicar que este lugar atestigua una observación continuada y sistemática del movimiento lunar. La ubicación fue elegida para poder conocer el momento que divide por la mitad al año celta (luz-oscuridad), un momento que fue celebrado por estas culturas y que tenía un máximo interés político, religioso, económico y ceremonial.

Analizados todos los ejemplos estudiados, y no reflejan más que una mínima parte de este amplio campo de investigación, creemos que los estudios arqueoastronómicos ofrecen un amplio potencial, aplicados a cualquier cultura o período cronológico. Pueden proporcionar información sobre los aspectos menos tangibles de la actividad humana, como las ideas, creencias y rituales o sobre los simples cálculos de los tiempos profanos y sagrados, que rigen la vida de cualquier comunidad. Por ello, la Arqueología debe incorporar este tipo de estudios en sus proyectos, como algo adicional y complementario a los ya más tradicionales que mayoritariamente aportan datos sobre los aspectos más materiales de la cultura.

## Bibliografía

---

- Aguilera y Gamboa, E. (1909). *El Alto Jalón: Descubrimientos arqueológicos*.
- (1916). *Las necrópolis ibéricas*. Asociación Española para el progreso de las Ciencias.
- (Obra inédita). *Páginas de la Historia patria por mis excavaciones arqueológicas..*
- Albaréde, F.; Desaulty, M. y Blichert-Toft, J. (2013). “A geological perspective on the use of Pb isotopes in Archaeometry”. *Archaeometry*, **54**(5), pp. 853–867.
- Alfayé, S. (2003-2005). “Las primeras investigaciones sobre el santuario celtibérico de Peñalba de Villastar”. *Archaiia*, **3-5**, pp. 215–224.
- (2009). “British Archaeological Report Internations Series 1963”. En: *Santuarios y rituales en la Hispania Céltica*, Archaeopress.
- Almagro-Gorbea, M. y Gran-Aymerich, J. (1991). “El estanque monumental de Bibracte (Mont Beuvarry, Borgoña)”. *Complutum*, **Extra 1**, pp. 57–70.
- Andersen, N.H. (1997). “The Sarup enclosures”. *Jutland Archaeological Society Publications*, **33**(1).
- Aparicio, A.; Belmonte, J.A. y Esteban, C. (1993). *Time and astronomy at the meeting of Two Worlds*. capítulo Archaeoastronomy in the Canary Islands: the pyramids of Güimar. Instituto de Arqueología. Universidad de Varsovia..
- Arenas, J.A. (1999a). *II Simposio sobre los celtíberos. Necrópolis Celtibéricas*. capítulo La necrópolis protohistórica de “La Cerrada de los Santos” (Aragoncillo, Guadalajara). Algunas consideraciones en torno a su contexto arqueológico., pp. 93–100. Institución Fernando “El Católico”, Zaragoza..
- (1999b). “La Edad del Hierro en el Sistema Ibérico central, España”. *BAR International Series*, **780**.
- Argente Oliver, J.L. (1977). “La necrópolis celtibérica de “El Altillo.ºn Aguilar de Anguita (Guadalajara): resultados de la campaña de excavación de 1973”. *Wad-Al-Hayara*, **4**, pp. 99–141.
- Argente Oliver, J.L.; Díaz Díaz, A. y Bescós Corral , A. (2000). *Tiermes V Carratiermes Necrópolis celtibérica*.

- Argente Oliver, J.L.; Díaz Díaz, A. y Bescós Corral, A. (1989). "Períodos protoceltibérico y celtibérico en la necrópolis de Carratiermes en base a los resultados de la campaña de 1989". *Espacio, Tiempo y Forma*, **1-2**, pp. 223–248.
- Armentia, J.E.; Almagro-Gorbea, M.; Gran-Aymerich, J. y Rodríguez-Caderot, G. (1993). *Homenaje a José María Blázquez*. capítulo Trazado y orientación topo-astronómica del Estanque Monumental de Bibracte, pp. 267–286. Ediciones Clásicas.
- Asín, F. M. (1990). *Astronomía*. Editorial Paraninfo.
- Aveni, A. F. (1982). *Archaeoastronomy in the New World: American Primitive Astronomy*. Cambridge University Press.
- Aveni, A.F. (1975). *Archaeoastronomy in Pre-Columbian America*. University of Texas Press. Austin & London.
- (1981). *Advances in archaeological method and theory*. capítulo Archaeoastronomy, pp. 1–77. Academic Press.
- Aveni, A.F.; Calnek, E. y Hartung, H. (1982). "Myth, environment and the orientation of the Templo Mayor of Tenochtitlan". *American Antiquity*, **53**, pp. 287–304.
- Baity, E.C. (1969). "Some implications of Astro-Archaeology for Americanists". En: Klaus Renner (Ed.), *Verhandlungen des 38 Internationalen Amerikanistenkongress*, **1**, pp. 85–94.
- (1973). "Archaeoastronomy and Ethnoastronomy so far". *Current Anthropology*, **14**, pp. 389–449.
- Bakulin, P.I.; Kononóvich, E.V. y Moroz, V.I. (1987). *Curso de Astronomía General*. Editorial Mir Moscú.
- Barrios, J. (1997a). "Number systems and calendars of the Berber populations of Grand Canary and Tenerife". *Archaeoastronomy and Ethnoastronomy News*, **26**, pp. 1–3.
- (1997b). "Tara: a study on the Canarian astronomical pictures. Part II. The acano chess-board". En: *Actas del IV congreso de la SEAC "Astronomía en la cultura"*, .
- (2002). *XIV Coloquio de Historia canario-americana*. capítulo Investigaciones sobre matemáticas y astronomía güanche. Parte I. Señales para el recuerdo., pp. 508–517.
- Baschmakoff, A. (1930). "Les alignements de Carnac (Morbihan)". *L'anthropologie*, **40**, pp. 40–75.
- Belmonte, J.A. (2000). *Arqueoastronomía Hispánica. Prácticas astronómicas en la Prehistoria de la Península Ibérica y los archipiélagos balear y canario*. Equipo Sirius.
- (2003). "Some open questions on the Egyptian calendar: an astronomer's view". *Trabajos de Egiptología*, **2**, pp. 11–60.
- (2012). *Pirámides, templos y estrellas: astronomía y arqueología en el Egipto antiguo*. Crítica.
- Belmonte, J.A.; González García, A.C. y A., Polcaro (2013 in press). "Unveiling Petra: astronomy and landscape in the Nabataen lands". *Nexus*.
- Belmonte, J.A. y Hoskin, M. (2002). *Reflejo del cosmos. Atlas de Arqueoastronomía en el Mediterráneo Antiguo*.

- Belmonte, J.A. y Shalhout, M. (2006). "On the orientation of ancient Egyptian temples: (2) New experiments at the oases of the Western Desert". *Journal for the History of Astronomy*, **37**, pp. 173–192.
- (2009). *In Search of Cosmic Order: selected essays on Egyptian Archaeoastronomy*. Supreme Council of Antiquities Press.
- Beltrán Lloris, F.; Jordán Cólera, C. y Marco Simón, F. (2005). "Novedades Epigráficas en Peñalba de Villastar (Teruel)". *Palaeohispanica*, **5**, pp. 911–956.
- Bosch, P. y Colominas, J. (1923). "La necrópolis de Can Missert (Terrasa)". *Anuari de l'Institut d'É Catalans*, **MCMXV-XX**, pp. 582–586.
- Brecher, K. (1978). "Sirius Enigmas". *Technology Review*, **80,2**, pp. 53–63.
- Broda, J. (1982). *Ethnoastronomy and Archaeoastronomy in the American Tropics*. capítulo Astronomy, Cosmovisión and Ideology in Pre-Hispanic Mesoamerica, pp. 81–110. New York Academy of Sciences.
- Brothwell, D. y Higgs, E. (1990). *Ciencia en Arqueología*. Fondo de Cultura Económica.
- Brunaux, J. (1986). *Les Gaulois: Sanctuaires et Rites..*
- Burillo Mozota, F.; Pérez Gutiérrez, M. y López Romero, R. (2009). "Estudio Arqueoastronómico de la plataforma de Segeda". En: *VIII Congreso Ibérico de Arqueometría*, .
- Burillo Mozota, F.; Saiz Carrasco, M.E. y Polo Cutando, C. (2008). "Ruta Celtibérica: Documento para el reconocimiento como Ruta Cultural Europea por el Instituto Europeo de Itinerarios Culturales". *Informe técnico*, Seminario de Arqueología y Etnología Turolense y Centro de Estudios Celtibéricos de Segeda.
- Cabré, J. (1910). "La montaña escrita de Peñalba". *Boletín de la Real Academia de la Historia*, **56**, pp. 241–280.
- Cabre, J. (1917). *Catálogo monumental de la provincia de Soria*.
- Cabré, J. (1930). "Excavaciones arqueológicas en la necrópolis celtibérica de El Altillo del Cerropozo, Atienza. Guadalajara." *Junta Superior de Excavaciones y Antigüedades*, **105**.
- Calvo, I. (1913). "Tiermes, ciudad Celtibero-Arévaca". *Revista de Archivos, Bibliotecas y Museos*.
- Capel, J. (1999). *Arqueometría y Arqueología*. Universidad de Granada.
- Carlús, X.; C., Lara; López Cachero, J. y Villena, N. (2002a). "La necrópolis de incineración de Can Piteu-Can Roqueta (Sabadell, Barcelona): caracterización del ritual funerario". *Bolskan*, **19**, pp. 141–164.
- Carlús, X.; Lara, C.; López, J.; Oliva, M.; Palomo, A.; A., Rodríguez; Terrats, N. y Villena, N. (2002b). "El paraje arqueológico de Can Roqueta (Sabadell, Vallés Occidental): diacronía y tipología de las ocupaciones". *Bolskan*, **19**, pp. 12–139.
- Cerdeño, M. L.; Rodríguez-Caderot, G.; Folgueira, M.; Hernández, M. C. y Corraliza, R. (2004). *Novedades arqueológicas celtibéricas*. capítulo Novedades culturales y metodológicas en la necrópolis de Herrería (Guadalajara), pp. 43–62. Asociación cultural de Protectores

- y Amigos del Museo Arqueológico Nacional.
- Cerdeño, M. L. y Sagardoy, T. (2007). *La necrópolis celtibérica de Herrería III y IV (Guadalajara)*. Fundación Segeda - Centro de Estudios Celtibericos.
- Cerdeño, M.L. (1976). "La necrópolis celtibérica de Valdenovillos". *Wad-Al-Hayara*, **3**, pp. 5–26.
- (1999). *Los pueblos celtas*. Arco Libros.
- Cerdeño, M.L.; García Huerta, R. y Antona del Val, V. (1981). "La necrópolis de Molina de Aragón. Campos de Urnas en la Meseta oriental." *Wad-Al-Hayara*, **8**, p. 9:80.
- Cerdeño, M.L. y Pérez de Ynestrosa, J.L. (1993). *La necrópolis celtibérica de Sigüenza: revisión del conjunto*. Monografías arqueológicas del S.A.E.T. ; 6.
- Cerdeño, M.L. y Rodríguez-Caderot, G. (2010a). *Actas VIII Congreso Ibérico de Arqueometría*. capítulo La Arqueoastronomía, ¿una arqueometría más?, pp. 279–286.
- (2010b). *Actas VIII Congreso Ibérico de Arqueometría*. capítulo La metodología en los estudios arqueoastronómicos, pp. 271–278.
- (2010c). *Arqueoastronomía: una nueva perspectiva en la investigación arqueológica*. Complutum, N° 20 (2).
- Cerdeño, M.L.; Rodríguez-Caderot, G. y Folgueira, M. (2001-2002). "El paisaje funerario de la cultura celtibérica". *Anales de Prehistoria y Arqueología*, **17-18**, pp. 177–185.
- Cerdeño, M.L.; Sagardoy, T.; Chordá, M. y Gamo, E. (2008). "Fortificaciones celtibéricas frente a Roma: El oppidum de Los Rodiles (Cubillejo de la Sierra, Guadalajara)". *Complutum*, **19**, pp. 173–189.
- Cerdeño, M.L. y García, H. R. (2001). *Arqueología funeraria: las necrópolis de incineración*. capítulo Las necrópolis celtibéricas: nuevas perspectivas de estudio, pp. 141–190.
- Cerdeño, M.L.; Rodríguez-Caderot, G.; R. Moya, P.; Ibarra, A. y Herrero, S. (2006). "Los estudios de arqueoastronomía en España: Estado de la cuestión". *Trabajos de Prehistoria*, **63**, **2**, pp. 13–34.
- Chamberlain, V. del (1982). *When the Stars Came Down to Earth. Cosmology of the Skidi Pawnee Indians of North America*. Ballena Press and Center for Archaeoastronomy.
- Charrière, G. y Roos, A. (1964). "Stonehenge, temple votif et monument calendaire". *Bulletin de la Société Préhistorique Française*, **61(1)**, pp. 169–184.
- China Satellite Navigation System's Office (2011). "Beidou Navigation Satellite System Signal In Space Interface Control Document (Test Version)".  
<http://www.beidou.gov.cn/>
- Cooper, P. (1969). "The absorption of solar radiation in solar stills". *Solar Energy*, **12**, pp. 333–346.
- Cuadrado, E. (1968). "Excavaciones en la necrópolis celtibérica de Riba de Saelices (Guadalajara)". *Excavaciones Arqueológicas en España*, **60**.

- D. Ashkenazi, D.; Golan, O. y Tal, O. (2013). "An archaeometallurgical study of 13th century arrowheads and bolts from the crusader castle of Arsuf/Arsur". *Archaeometry*, **55**(2), pp. 235–257.
- Darvill, T. y Thomas, J. (2001). *Neolithic Enclosures in Atlantic Northwest Europe*. capítulo Neolithic enclosures in Atlantic northwest Europe: some recent trends, pp. 1–23. Oxford.
- de Figueroa y Torres, A. (1910). *Las ruinas de Tiermes. Apuntes arqueológicos descriptivos*.
- de Palol, P (1927). "¿Una necrópolis ibérica?" *La Veu de Catalunya*, **Julio**.
- (1958). *La necrópolis Hallstática de Agullana (Gerona)*. Bibliotheca Praehistorica Hispana, Vol.1.
- Díaz Díaz, A. (1976). *La cerámica de la necrópolis celtibérica de Luzaga (Guadalajara)*. Revista de Archivos, Bibliotecas y Museos, LXXIX..
- Domínguez, L. (1982). "Los materiales de la necrópolis de Almaluez conservados en el MAN". *Trabajos de Prehistoria*, **39**, pp. 241–278.
- Dow, J.W. (1967). "Astronomical orientations at Teotihuacan: A case Study in Astro-Archaeology". *American Antiquity*, **32** (3), pp. 326–334.
- EPSG (2011). "European Petroleum Survey Group Geodetic Parameters Version 7.9".  
<http://www.epsg.org/CurrentDB.html>
- Esteban, C. (2001). "Astronomía y religión ibérica". *Revista de Arqueología*, **238**, pp. 12–20.
- (2002). "Elementos astronómicos en el mundo religioso y funerario ibérico". *Trabajos de Prehistoria*, **59**(2), pp. 81–100.
- (2003). "La Arqueoastronomía en España". *Anuario del Observatorio Astronómico. IGN*, **52**, pp. 309–322.
- (2009). "La astronomía cultural, ¿es interdisciplinar?. Reflexiones de un astrofísico". *Complutum*, **20**(2), pp. 69–77.
- EU (2007). "European INSPIRE directive".  
<http://inspire.jrc.ec.europa.eu/>
- Feliú Ortega, M. J.; Martín Calleja, J.; Edreira Sánchez, M. C.; Fernández Lorenzo, M. C.; Martínez Brell, M. P.; Gil Monteo, A. y Alcántara Puerto, R. (2003). *Avances en Arqueometría*. Universidad de Cádiz.
- Fernández Galiano, D. (1976). "Descubrimiento de una necrópolis celtibérica en Sigüenza (Guadalajara)". *Wad-Al-Hayara*, **3**.
- Ferrarese, F. y Lella, P. (2013). "Gaussian curves for visualizing chronological patterns of ceramic finds and residuality". *Archaeometry*, **55**(2), pp. 296–311.
- Ferrández, M.; Lafuente, A.; López, J.B. y Plens, M. (1991). "La necrópolis tumular d'incineració de la Colomina 1 (Gerb, la Noguera)". *Revista d'Arqueologia de Ponent*, **1**, pp. 83–150.
- Flores, R.; Jimeno, A.; Morales, F. y Gómez, I. (1999). "Marcas y fíbulas anulares de Numancia." En: *IV Simposio sobre Los Celtíberos. Economía.*, .

- Freeman, P. R. (1982). *Archaeoastronomy in the Old World*. capítulo The statistical approach, pp. 45–52.
- Freeman, P.R. y Elmore, W. (1979). "A test for the significance of astronomical alignments". *Archaeoastronomy (JHA)*, **1**, pp. S86–S96.
- Fricke, W.; Schwan, H.; Lederle, T.; Bastian, U.; Bien, R.; Burkhardt, G.; du Mont, B.; Hering, R.; Jährling, R.; Jahreiß, H.; Röser, S.; Schwerdtfeger, H.M. y Walter, H.G. (1991). "Fifth Fundamental Catalogue (FK5). Part 1. The Basic Fundamental Stars". *Astronomisches Rechen-Institut*, **32**.
- Fuentes Mascarell, C. (2004). *La necrópolis celtibérica de Viñas de Portuguí (Osma,Soria)*. Toxosoutos.
- García, M (2003). "Malos tiempos para la lírica. ¿Hay todavía un futuro para la Arqueología Científica en la universidad española?" *Complutum*, **14**, pp. 7–18.
- García Merino, C. (1973). "Evolución del poblamiento en Gormaz (Soria) desde la Edad del Hierro a la Edad Media". *Boletín del Seminario de Estudios de Arte y Arqueología*, **XXXIX**.
- García Quintela, M.V. (2003). "Souveraineté et sanctuaires dans l'Espagne celte. Études comparées d'histoire et d'Archéologie." *Memoires de la Societé Belge d'Etudes Celtiques*, **17**.
- García-Soto, E. (1988). *Diez Años de Arqueología Soriana*. capítulo El yacimiento arqueológico de San Martín de Ucero (Soria)-Excavaciones de 1980 a 1985. García Merino.
- García-Soto, E. (1988). *II Simposio sobre los Celtíberos*. capítulo Las necrópolis de la Edad del Hierro en el Alto Valle del Duero en Necrópolis Celtibéricas, pp. 13–38. Institución Fernando el Católico.
- García Quintela, M. y González, C. (2010). *VI Simposio sobre los Celtíberos: Ritos y Mitos*. capítulo Campo Lameiro y Peñalba de Villastar: miradas cruzadas sobre lugares de culto prerromanos peninsulares y su romanización, pp. 113–122. Institución Fernando el Católico.
- García Quintela, M. y Santos Estévez, M. (2004). "lineación arqueoastronómica en A Ferradura. (Amoeiro-Ourense)". *Complutum*, **15**, pp. 51–74.
- Gibbs, S.L. (1979). "Archaeoastronomy and the History of Astronomy". *Archaeoastronomy (BCA)*, **2,2**, pp. 9–10.
- Glinister, F. (1997). "What is a sanctuary ?" *Cahiers du Centre Gustave Glotz*, **8**, pp. 61–80.
- Gómez Castaño, J. (2006). "Algoritmo de precesión válido para épocas remotas". *Astrum*.
- Gómez Castaño, J.; Mejuto, J. y Rodríguez-Caderot, G. (2011). "Generación de una capa astronómica para la IDE Arqueológica. Arqueoastronomía en el Sur de Portugal." En: *II Jornadas Ibéricas de las Infraestructuras de Datos Espaciales*, .
- Gómez-Pantoja, J. y Lopez Trujillo, M. A. (1996). "Los inicios de la Arqueología moderna en Guadalajara: Dos notas sobre yacimientos poco conocidos". En: *Actas del V Encuentro de Historiadores del Valle del Henares, Guadalajara*, .



- Gómez Castaño, J.; Mejuto, J. y Rodríguez-Caderot, G. (2011). "Generación de una capa Astronómica para la IDE Arqueológica. Arqueoastronomía en el Sur de Portugal". En: *II Jornadas Ibéricas de las Infraestructuras de Datos Espaciales*, .
- Gómez Ruiz, A. y Hoskin, M. (2000). "Studies in Iberian Archaeoastronomy: (7) Orientations of megalithic tombs of Huelva". *Archaeoastronomy*, **25**, pp. 41–50.
- Hawkes, J. (1967). "God in the Machine". *Antiquity*, **41**, p. 174.180.
- Hawkins, G. (1964). "Stonehenge: a Neolithic Computer". *Nature*, **202**, pp. 1258–1261.
- Hawkins, G.S. (1963). "Stone decoded". *Nature*, **200**, pp. 306–308.
- (1968). "Astro-Archaeology". *Vistas in Astronomy*, **10**, pp. 45–88.
- Hawkins, G.S. y White, J.B. (1965). *Stonehenge decoded*. Doubleday.
- Heggie, D. C. (1981a). *Megalithic science: ancient mathematics and astronomy in Northern Europe*. Thames & Hudson. London..
- (1982). *Archaeoastronomy in the Old World*. Oxford University Press. Oxford..
- Heggie, D.C. (1981b). "Highlights and problems of megalithic astronomy". *Archaeoastronomy (JHA)*, **3**, pp. S17–S37.
- Hillam, J. y Tyers, I. (1995). "Reliability and repeatability in dendrochronological analysis: Tests using the fletcher archive of panel-painting data". *Archaeometry*, **37(2)**, pp. 395–405.
- Hoffleit, D. y Warren Jr, W.H. (1991). *The Bright Star Catalogue, 5th Revised*. Astronomical Data Center, NSSDC/ADC.
- Hoskin, M. (1985). "The Talayotic Culture of Menorca: A First Reconnaissance". *Archaeoastronomy*, **9**, pp. 133–151.
- (1989). "The Orientations of the Taulas of Menorca (1): The Southern Taulas". *Archaeoastronomy*, **14**, pp. 117–136.
- (1990). "The Orientations of the Taulas of Menorca (2): The remaining Taulas". *Archaeoastronomy*, **15**, pp. 37–48.
- (2002). "Studies in Iberian Archaeoastronomy: (9) An overview". *Archaeoastronomy*, **27**, pp. 75–82.
- Hoskin, M.; Allan, E. y Gralewski, R. (1994). "Studies in Iberian Archaeoastronomy: (1) Orientations of the Megalithic Sepulchres of Almería, Granada and Málaga". *Archaeoastronomy*, **19**, pp. 55–82.
- (1995a). "Studies in Iberian Archaeoastronomy: (2) Orientations of the Tholos Tombs of Almería". *Archaeoastronomy*, **20**, pp. 29–39.
- (1995b). "Studies in Iberian Archaeoastronomy: (3) Customs and Motives in Andalucía". *Archaeoastronomy*, **20**, pp. 41–48.
- Hoskin, M.; Mercadal, O.; Aliaga, S.; Zaldúa, L.M.; Rodríguez, A.A.; Soares, N.M.; López Plaza, M.S.; De Senna-Martínez, J.C.; Henriques, F.; Belmonte, J. A.; Lago, M.; Albergaria, J.; Calado, M. y Martins, A. (1998). "Studies in Iberian Archaeoastronomy: (5) Orientations of megalithic tombs in Northern and Western Iberian". *Archaeoastronomy*, **23**,

- pp. 39–88.
- Hoskin, M. y Morales Núñez, J.J. (1991). "The orientations of the Burial Monuments of Menorca". *Archaeoastronomy*, **16**, pp. 15–42.
- Hoskin, M. y Palomo, T. (1998). "Studies in Iberian Archaeoastronomy: (4) The orientations of the megalithic tombs of eastern Catalunya". *Journal for the History of Astronomy*, **XXIX**, pp. 63–79.
- Hoskin, M.; Quintã, J.M.; Tirapicos, L.; Vera, J.C.; Mas, M.; Cruz-Aunñon, R.; García San-Juan, L.; Belmonte, J. A.; Pimenta, F. y Martín de la Cruz, J.C. (2001). "Studies in Iberian Archaeoastronomy: (8) Orientations of megalithic and tholos tombs of Portugal and Southwest Spain". *Archaeoastronomy*, **26**, pp. 45–64.
- Hoskin, M. y Sauch, C. (1999). "Studies in Iberian Archaeoastronomy: (6) Orientations of the megalithic tombs of Badajoz and Neighbouring Portugal". *Journal for the History of Astronomy*, **24**, pp. 35–40.
- Hoyle, F. (1966). "Speculations on Stonehenge". *Antiquity*, **40**, pp. 262–276.
- IAG (1992). "Geodesist's Handbook". *Bulletin Geodesique*, **66**.
- IERS (1987). "International Earth, Rotation and Reference Systems Service".  
<http://www.iers.org>
- IGEB, Interagency GPS Executive Board (1996). "National Space-Based Positioning, Navigation, and Timing Executive Committee". <http://www.pnt.gov/charter>.
- ITRF (1991). "International Terrestrial Reference Frame".  
<http://itrf.ensg.ign.fr/>
- Iwaniszewski, S. (1991). "Astronomy as a Cultural System". *Interdisciplinarni izsledvaniya*, **18**, pp. 282–288.
- (1994). "De la astroarqueología a la astronomía cultural". *Trabajos de Prehistoria*, **51 (2)**, pp. 21–39.
- Jaschek, C. (1993). *European Meeting on Archeoastronomy & Ethnoastronomy. Proceedings of the SEAC foundational conference*. L'Observatoire Astronomique de Strasbourg.
- Jaschek, C. y Atrio, F. (1997). *Actas del IV congreso de la SEAC "Astronomía en la cultura"*. Universidad de Salamanca.
- Jiménez, J.J. (1993). *Time and astronomy at the meeting of Two Worlds*. capítulo Nuevas pruebas de elementos astrales en la arqueología prehistórica de Canarias. Instituto de Arqueología. Universidad de Varsovia..
- Jimeno, A. (1993). "Numancia. Pasado y Futuro". *Revista de Soria*, **2**.
- (1996). "Numancia. Relación necrópolis-poblado." *Archivo Español de Arqueología*, **69**, pp. 57–76.
- Jimeno, A.; Berzosa, R.; de la Torre, J.I.; Granda, R. y Flores, R. (1999). "Actividades económicas en Numancia." En: *XXIV Congreso Nacional de Arqueología*, .

- Jimeno, A.; de la Torre, J.I.; Berzosa, R. y Martínez, J.P. (2004). *La necrópolis celtibérica de Numancia*. Junta de Castilla y León.
- Jimeno, A. y Morales, F. (1993a). "El poblamiento de la Edad del Hierro en el Alto Duero y la Necrópolis de Numancia." *Complutum*, **4**, pp. 147–156.
- (1993b). "La localización y confirmación arqueológica de la Necrópolis de Numancia." *Revista de Arqueología*.
- Jimeno, A. y Tranco, G. (1996). "Numancia". *Investigación y Ciencia*, **232**.
- Jimeno, A.; Tranco, G.; Morales, F.; Robledo, B. y López-Bueis, I. (1996). "Ritual y dieta alimenticia. La necrópolis celtibérica de Numancia." *Numantia*, **6**, pp. 31–44.
- Jiménez Hernández, A. y Carrasco Gómez, I. (2012). "La Tumba del Elefante de la Necrópolis Romana de Carmona. Una revisión necesaria desde la Arqueología de la Arquitectura y la Arqueoastronomía". *Archivo Español de Arqueología*, **85**, pp. 119–139.
- Kelley, D.H. y Milone, E.F. (2005). *Exploring Ancient Skies: An encyclopedic survey of archaeoastronomy*. Springer.
- Klimishin, I.A. (1991). *Modern Astronomy*. Instituto Pedagógico Leninogorsk.
- Krupp, E. C. (1981). *North America: A Multiplicity of Astronomies*. capítulo A glance into the smoking mirror, pp. 55–59. Ballena Press.
- Le Contel, J. M. y Paul, V. (1997). *Un Calendrier Celtique. Le calendrier gaulois de Coligny*. Archéologie Aujourd'hui.
- Leick, A. (2004). *GPS Satellite Surveying*. Wiley.
- Lewis, A.L. (1878). "Rude stone monuments in Wales". *Journal of the Royal Anthropological Institute*, **11**, pp. 3–7.
- Lockyer, J. N. (1894). *The Dawn of Astronomy: A Study of Temple Worship and Mythology of the Ancient Egyptians*. Macmillan and Co..
- (1901). "An attempt to ascertain the date of the original construction of Stonehenge from its orientation". *Nature*, **65**, pp. 55–57.
- (1905). "Notes on Stonehenge". *Nature*, **71**, pp. 297–300, 345–348, 367–368, 391–393, 535–538.
- (1906). "Notes on some Cornish circles". *Nature*, **73**, pp. 366–368, 561–563.
- Lorrio, A. y Sánchez de Prado, D. (2009). *La necrópolis celtibérica de Arcóbriga*. Institución Fernando "El Católico", Zaragoza..
- Lorrio, A.J. (1997). "Los Celtíberos". *Complutum*, **Extra 7**.
- López Plaza, S.; Alonso Romero, F.; Cornide Castro, M. y Álvarez Santos, A. (1991). "Aplicación de la Astronomía en el Estudio de la Orientación de sepulcros megalíticos de corredor en la zona noroccidental de la Península Ibérica". *Zephyrus*, **XLIV-XLV**, pp. 183–192.
- Mackie, E. (1977a). *The megalith builders*. Phaidon. Oxford.
- (1977b). *Science and society in prehistoric Britain*. Paul Elek. London.

- Malpesa Montemayor, E. (1993). "La Sacerdotisa del Sol y el collar sideral: la tumba 53 de Clares (Guadalajara)". *Boletín del M.A.N.*, **XI**, pp. 17–24.
- Maniatis, Y. (2002). *Archaeometry in Europe in the third millennium*. capítulo Archaeometry in the third millennium: an integrated tool for the decoding, preservation and dissemination of the Cultural Heritage, pp. 61–86. Academia Nazionale dei Lincei.
- Marco, F. (1987). *I Simposio sobre los Celtíberos*. capítulo La religión de los celtíberos, pp. 55–74. Institución Fernando el Católico.
- (1996). *A cidade e o mundo: romanização e cambio social*. capítulo Romanización y aculturación religiosa: los santuarios rurales, pp. 83–86. Xinzo de Limia.
- Martin-Torres, M. y Rehren, T. (2008). *Archaeology, Historia and Science. Integrating approaches to ancient materials*. University College of London.
- Martín González, S. (2011). "Noticia de un posible santuario rupestre vettón en Las Hurdes (Cáceres)". *Gerion*, **29(2)**, pp. 61–69.
- Maskelyne, N. (1763). *British Mariner's Guide*.
- McCluskey, S. C. (1981). *Archaeoastronomy in the Americas*. capítulo Transformations of the Hopi Calendar, pp. 173–182. Ballena Press.
- McCluskey, S.C. (1982). "Archaeoastronomy, Ethnoastronomy, and the History of Science". *Annals of the New York Academy of Sciences*, **385**, pp. 343–351. doi:10.1111/j.1749-6632.1982.tb34275.x.
- McKie, E. (1971). "Archaeoastronomy: A review of Megalithic lunar observatories, by Alexander Thom (Oxford, Clarendon Press, 1971)". *The Listener*, **January**, **28**.
- (1981). "The last word on archaeoastronomy?" *Archaeoastronomy (BCA)*, **4**, **1**, p. 6.
- Mejuto, J.; Cerdeño, M.L; Rodríguez-Caderot, G. y C., Rodríguez (2009). *Proceedings IAU Symposium No. 260, E2*. capítulo Astrokeltói: an archaeoastronomical project in the Celtiberian area.
- Mejuto, J.; Gómez Castaño, J. y Rodríguez-Caderot, G. (2012). *Archaeology, New Approaches in Theory and Techniques*. capítulo GIS Techniques in Archaeology: An Archaeoastronomical Approach, pp. 117–132. Intech.
- Mejuto, J. y Rodríguez, C. (2010). *La metodología en los estudios arqueoastronómicos*. Seminario de Arqueología y Etnología Turolense.
- Mejuto, J. y Torres-Martínez, J.F. (2010). *VI Simposio sobre los Celtíberos: Ritos y Mitos*. capítulo El "Calendario Celta" como fuente para el estudio de la Cultura Céltica. Arqueoastronomía y etnohistoria, pp. 541–552. Institución Fernando el Católico.
- Montero, I.; García, M. y López-Romero, E. (2007). "Arqueometría: cambios y tendencias actuales". *Trabajos de Prehistoria*, **64(1)**, pp. 23–40.
- Morenas de Tejada, R. (1916a). "Divulgaciones arqueológicas: Las ruinas de Uxama". *Por esos mundos*, **Enero**.

- (1916b). “Divulgaciones arqueológicas: Las ruinas de Uxama”. *Por esos mundos, Diciembre*, pp. 605–610.
- Márquez, J. y Jiménez, V. (2012). *La paz, partera de la historia*. capítulo Interpretando los recintos de fosos de la prehistoria meridional europea: la tesis belicista a examen, pp. 69–86. Editorial Universidad de Granada.
- NASA (2011). “ASTER Global Digital Elevation Map 2.0”.  
<http://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp>
- OGC (2011a). “Open Geospatial Consortium (OGC)”.  
<http://www.opengeospatial.org>
- (2011b). “SFSQL Standard”.  
<http://www.opengeospatial.org/standards/sfs>
- Ortego, T. (1983). “La necrópolis arévaca de La Revilla (Soria)”. En: *XVI Congreso Nacional de Arqueología (Murcia-Cartagena, 1982)*, .
- Parkinson, W.A. y Duffy, P.R. (2007). “Fortifications and enclosures in European Prehistory: A cross-cultural perspective.” *Journal of Archaeological Research*, **15(2)**, pp. 97–141.
- Paz Escribano, M. (1980). “La necrópolis céltica de El Antance (Guadalajara)”. *Wad-Al-Hayara*, **7**, pp. 35–57.
- Petit i Mendizabal, M. A. (1989). “Can Missert, una necròpolis del Bronze final al Vallès”. *Terme*, **4**, pp. 7–11.
- Pons, E. (2000). “Pobles de muntanya, pobles d’aigua al Pirineu Oriental (1100-650 a.C.)”. *Col·lecció Papers de Recerca*, **5**, pp. 50–54.
- Purrington, R. (1988). “Heliacal rising and setting: Quantitative aspects”. *Archaeoastronomy*, **12**.
- Reino, Xesús Amado (1999). “El GPS en Arqueología: Introducción y Ejemplos de uso”. *Tapa*, **15**.
- Requejo, J. (1978). “La necrópolis celtibérica de Carabias (Guadalajara)”. *Wad-Al-Hayara*, **5**, pp. 49–62.
- Rodríguez-Caderot, G.; Folgueira, M.; Mejuto, J. y Pascual, E. (2009). *Cosmology across cultures*. capítulo Review of topo-astronomical methods for the precise orientation in archaeological sites. Astronomical Society of the Pacific.
- Rodríguez-Caderot, G.; Cerdeño, M.L.; Folgueira, M. y Sagardoy, T. (2006). “Observaciones topoastronómicas en la Zona Arqueológica de El Ceremeño (Herrería, Guadalajara)”. *Complutum*, **17**, pp. 133–143.
- Royo, J.I. y Gómez, F. (2005-2006). “La Cueva de las Cazoletas de Monreal de Ariza (Zaragoza) y sus grabados rupestres: Un santuario celtibérico al aire libre”. *Kalathos*, **24-25**, pp. 293–321.
- Royo Guillén, J.I. (1990). *Necrópolis celtibéricas. II Simposio sobre los Celtíberos*. capítulo La necrópolis de los Campos de Urnas del valle medio del Ebro como precedente del mundo

- funerario celtibérico, pp. 123–136. Institución Fernando el Católico.
- Ruggles, C. L. N. (1981). *Astronomy and Society in Britain During the Period 4000-1500 BC*. capítulo A critical examination of the megalithic lunar observatories, pp. 153–209. BAR British Series 88, Oxford.
- (1982a). *Archaeoastronomy in the Old World*. capítulo Megalithic astronomical sightlines: current reassessment and future directions, pp. 83–105. Cambridge University Press.
- (1982b). “A reassessment of the high precision megalithic lunar sightlines, 1: Backsights, indicator and archaeological status of the sightlines”. *Archaeoastronomy (JHA)*, **4**, pp. S21–S40.
- (1983). “A reassessment of the high precision megalithic lunar sightlines, 2: foresights and the problem of selection”. *Archaeoastronomy (JHA)*, **5**, pp. S1–S36.
- (1984a). *Megalithic astronomy: a new archaeological and statistical study of 300 Western Scottish sites*. BAR British Series 123, Oxford.
- (1984b). “Megalithic astronomy: the last five years”. *Vistas in Astronomy*, **27**, pp. 231–289.
- Ruiz, G. (2001). *La Edad del Bronce, ¿primera Edad de Oro de España? Sociedad, economía e ideología*. capítulo Las comunidades del Bronce final: enterramiento y sociedad en los campos de urnas, pp. 257–288. Crítica Arqueología.
- Ruiz Zapatero, Gonzalo (1999). *La Edad del Bronce, ¿primera Edad de Oro en España? Sociedad, economía e ideología*. capítulo Las comunidades del Bronce Final. Enterramiento y sociedad en los campos de urnas, pp. 257–290.
- Ruiz Zapatero, Gonzalo y Lorrio, Alberto J. (1999). *El origen del mundo celtibérico*. capítulo Las raíces prehistóricas del mundo celtibérico, pp. 21–36.
- Saavedra, E. (1861). *Descripción de la Via Romana entre Uxama y Augustóbriga*. Real Academia de la Historia.
- (1867). “Excavaciones hechas en el cerro de Garray, donde se cree que estuvo situada Numancia.” *Boletín de la Real Academia de la Historia*, **1**, pp. 55–58.
- Salinas de Frias, M. (1985). *La religión indígena en la Hispania central y la conquista de Roma*. Studia Zamorensia.
- Schulten, A. (1905). *Numantia. Eine topographischhistorische Untersuchung*. Weidmannsche Buchhandlung.
- (1908). “Numantia. Les camps de Scipion à Numance. Premier Rapport (fouilles de 1906).” *Bulletin Hispanique*, **X**, pp. 128–156.
- (1909). “Numantia. Les camps de Scipion à Numance. Deuxième Rapport (fouilles de 1907).” *Bulletin Hispanique*, **XI**, pp. 1–24.
- (1914). “Die Keltiberer und ihre Kriege mit Rom”. En: *Numantia. Die Ergebnisse der Ausgrabungen 1905-1912, vol. I*, .

- (1927). “Die Keltiberer und ihre Kriege mit Rom”. En: *Numantia. Die Ergebnisse der Ausgrabungen 1905-1912, vol. III. Die Lager des Scipio*, .
- (1929). “Die Keltiberer und ihre Kriege mit Rom”. En: *Numantia. Die Ergebnisse der Ausgrabungen 1905-1912, vol. IV. Die Lager bei Renieblas*, .
- (1931). “Die Keltiberer und ihre Kriege mit Rom”. En: *Numantia. Die Ergebnisse der Ausgrabungen 1905-1912, vol. II*, .
- (1945). *Historia de Numancia*.
- Schüle, W. (1969). “Die Meseta-Kulturen der Iberischen Halbinsel: Volumen 3, Número 1”. *Mediterrane und eurasische Elemente in früheisenzeitlichen Kulturen Südwesteuropas*, **3 (1)**.
- Sentenach, N. (1911). “Excursión a Tiermes”. *Boletín de la Sociedad Española de Excursiones*, **XIX**.
- Sevilla, M. J. (1979). “Determinación del Acimut de una referencia por observación de la Estrella Polar. Programa de Cálculo automático”. *Urania*, **291-292**.
- Shalthout, M. y Belmonte, J.A. (2005). “On the orientation of ancient Egyptian temples: (1) Upper Egypt and Lower Nubia, *Journal for the History of Astronomy* (2005), **36**, 273-298.” *Journal for the History of Astronomy*, **36**, pp. 273–298.
- Shalthout, M.; Belmonte, J.A. y Fekri, M. (2007). “On the orientation of ancient Egyptian temples: (3) key points at Lower Egypt and Siwa Oasis”. *Journal for the History of Astronomy*, **2**, pp. 141–160.
- (2008). “On the orientation of ancient Egyptian temples: (4) epilogue at Serabit el Khadim and overview”. *Journal for the History of Astronomy*, **39**, pp. 181–211.
- Somerville, H.B.T. (1909). “Ancient stone monuments near Lough Swilly, County Donegal”. *Journal of the Royal Society of Antiquities of Ireland*, **39**, pp. 192–202, 215–233, 343–349.
- (1912). “Astronomical indications in the megalithic monument at Callanish”. *Journal of the British Astronomical Association*, **23**, p. 83.
- (1922). “Megaliths and astronomy”. *Man*, **22**, p. art.77.
- Sopeña, G. (1987). *Dioses, Ética y Ritos*.
- (2005). “Celtiberian Ideologies and Religion”.  
[http://www4.uwm.edu/celtic/ekeltoi/volumes/vol6/6\\_7/sopena\\_6\\_7.html](http://www4.uwm.edu/celtic/ekeltoi/volumes/vol6/6_7/sopena_6_7.html)
- Spenak, F. y Meeus, J. (2009). *Five millenium catalog of solar eclipses -1999 to +3000*. JPL-NASA.
- Stukeley, W. (1740). *Stonehenge, a Temple Restor'd to the British Druids*.
- Taracena, B. (1932). “Excavaciones en la provincia de Soria”. *Junta Superior de Excavaciones y Antigüedades*, **119**.
- (1941). *Carta Arqueológica de Soria*.
- Tedlock, B. (1982). *Time and the Highland Maya*. University of New Mexico Press. Albuquerque.

- NASA (2000). "NASA's SRTM Mission".  
<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>
- Thom, A. (1954). "The solar observations of megalithic man". *Journal of the British Astronomical Association*, **64**, 8, pp. 396–404.
- (1955). "A statistical examination of the megalithic man". *Journal of the Royal Statistical Society*, **A**, **III**, **118**, pp. 275–296.
- (1966). "Megaliths and Mathematics". *Antiquity*, **40**, pp. 121–128.
- (1967). *Megalithic Sites in Britain*. Oxford: Claredon Press.
- (1971). *Megalithic lunar observatories*. Oxford: Claredon Press.
- Thom, A. y Thom, A. S. (1972). "The Carnac alignments". *Journal for the History of Astronomy*, **3**(1), pp. 11–26.
- (1974). "The kermario alignments". *Journal for the History of Astronomy*, **5**(1), pp. 30–47.
- (1982). *Archaeoastronomy in the Old World*. capítulo Statistical and philosophical arguments for the astronomical significance of standing stones with a selection on the solar calendar, pp. 53–82.
- (1983). "Observation of the Moon in megalithic times". *Archaeoastronomy (JHA)*, **5**, pp. S57–S66.
- Thom, A.; Thom, A. S. y Thom, A. S. (1974). "Stonehenge". *Journal for the History of Astronomy*, **5**, pp. 71–90.
- (1975). "Stonehenge as a possibly lunar observatory". *Journal for the History of Astronomy*, **6**(1), pp. 19–30.
- Tite, M. S. (1991). "Archaeological science—Past achievements and future prospects". *Archaeometry*, **33**(2), pp. 139–151.
- (2002). *Archaeometry in Europe in the third millennium*. capítulo Archaeometry: if is not archaeology it is nothing, pp. 33–47. Academia Nazionale dei Lincei.
- Urton, G. (1981). *At the Crossroads of the Earth and the Sky. An Andean Cosmology*. University of Texas Press, Austin.
- USNO (1992). *Explanatory Supplement to the Astronomical Almanac*. University Science Books.
- Valdés, I., L. y Pujana (2003). "El santuario protohistórico de Gastiburu y el calendario estacional (siglos IV al I a. C.)". *Bolskan*, **19**, pp. 249–254.
- Valera, A.C. y Becker, H. (2011). "Cosmología e recintos de fossos da Pré-História recente: Resultados da prospecção Geofísica em Xancra (Cuba, Beja)". *Apontamentos de Arqueologia e Património*, **7**.
- Vilaseca, S. (1943). *El poblado y necrópolis prehistóricos de Molá (Tarragona)*. Acta Arqueológica Hispánica I, Madrid..
- (1947). "El campo de urnas de Les Obagues del Montsant y la evolución de la cultura de las urnas en el sur de Cataluña". En: *Archivo español de arqueología*, .



- Vincenty, T. (1975). "Direct and Inverse Solutions of Geodesics on the Ellipsoid with Application of Nested Equations". *Survey Review*, **22 (176)**, p. 88.
- VV.AA. (1912). *Excavaciones de Numancia. Memoria de las Excavaciones presentada al Ministerio de Instrucción Pública y Bellas Artes por la Comisión Ejecutiva de las Excavaciones de Numancia*. Imprenta José Blass.
- Wolf, Paul R. y Ghilani, Charles D. (2002). *Elementary Surveying: An Introduction to Geomatics*. Prentice Hall.
- Wood, J.E. (1978). *Sun, moon and standing stones*. Oxford University Press. Oxford..
- Wood, John (1747). *Choir Gaure, Vulgarly called Stonehenge, on Salisbury Plain*. Oxford.
- Zeilik, M. (1984). "The Ethnoastronomy of the Historic Pueblos I: Calendrical Sun Watching". *Archaeoastronomy*, **8**, pp. S1–S24.
- (1986). "The Ethnoastronomy of the Historic Pueblos II: Moon Watching". *Archaeoastronomy (JHA)*, **10**, pp. S1–S22.
- Zuidema, R. T. (1977). *Native American Astronomy*. capítulo The Inca calendar, pp. 219–259. University of Texas Press, Austin.



# Anexo I

---

## A1. Datos del estudio de las necrópolis del Bronce Final

A continuación se exponen las coordenadas de cada una de las tumbas para cada necrópolis.

### La Torraza

(44,6); (43,25); (52,64); (27,84); (40,93); (22,98); (35,119); (14,125); (38,137); (50,146); (9,148); (36,156); (21,165); (45,189).

### Can Missert

(7,17); (12,17); (21,17); (28,17); (33,15); (36,10); (9,20); (14,21); (21,21); (23,24); (19,23); (11,23); (8,22); (42,24); (45,20); (53,26); (55,22); (57,26); (58,24); (59,20); (69,13); (64,11); (76,12); (79,19); (84,22); (78,26); (95,25); (95,22); (102,23); (95,27); (70,26); (68,23); (72,23); (76,24); (78,23); (80,22); (76,21); (74,20); (76,19); (70,19); (74,16); (66,16); (124,75); (145,87); (155,79); (150,78).

### Les Obagues

(5,4); (19,4); (22,15); (12,16); (96,51); (106,53); (99,62); (112,63); (123,71); (98,73); (115,78); (121,85); (116,100); (119,115).

### La Colomina

(46,12); (77,17); (105,23); (123,32); (87,37); (68,37); (39,39); (25,47); (56,63); (83,57); (102,55); (122,64); (87,76); (126,88); (100,90); (72,90); (54,91); (20,90); (60,99); (116,99); (130,105); (85,115); (109,116); (102,142); (71,135); (43,142); (16,149).

### Agullana

(10,84); (15,94); (20,4); (30,13); (41,14); (20,34); (25,37); (20,50); (35,48); (38,55); (48,55); (28,76); (26,79); (22,79); (38,84); (24,87); (29,88); (33,88); (27,91); (32,93); (21,93); (26,97); (26,100); (28,105); (32,107); (33,114); (62,17); (73,24); (67,27); (76,30); (63,29); (66,32); (83,31); (91,34); (75,36); (70,37); (67,41); (105,37); (61,46); (109,42); (68,48); (79,48); (91,45); (109,42); (104,45); (100,48); (54,52); (110,62); (54,52); (113,54); (118,55); (111,57); (109,60); (89,61); (74,58); (70,60); (114,87); (104,61); (103,66); (104,69); (108,71); (76,68); (56,69); (89,72); (91,74); (83,75); (118,74); (109,77); (111,72); (113,81); (54,80); (67,81); (70,84); (61,89); (73,88); (67,90); (83,83); (88,82); (92,83); (99,84); (107,83); (108,88); (103,90); (93,89); (90,90); (118,89); (115,89); (114,92); (83,96); (89,97); (69,97); (77,98); (63,100); (66,101); (76,102); (64,105); (72,109); (70,110); (66,111); (68,115); (71,118); (70,124); (78,124); (82,120); (88,118); (92,122); (95,119); (87,106); (92,105) ; (100,100); (101,116); (111,116); (104,114); (109,115); (118,115); (112,114); (106,111); (121,109); (117,108); (124,109); (109,103); (111,100); (113,97); (121,103); (132,101); (125,99); (129,95); (135,105); (134,102); (135,93); (130,77); (144,101); (149,101); (151,109); (162,108); (164,103); (156,108); (155,100); (158,98); (166,94); (167,94); (172,92); (166,90); (170,88); (172,86); (173,83); (176,80); (177,77); (183,80); (186,81); (191,82); (191,75); (194,73); (197,73); (201,75); (215,79); (204,73); (190,72); (191,69); (199,67); (199,64); (201,57); (211,58); (215,79); (225,102); (237,98); (185,90); (182,90); (187,92); (183,97); (190,99); (193,102); (186,102); (186,105); (195,106); (191,107); (188,109); (184,109); (181,103); (147,96); (148,92); (140,92); (152,90); (137,89); (134,85); (156,85); (153,84); (140,83); (149,70); (130,77); (137,73); (140,72); (143,71); (146,72); (155,71); (164,74); (171,72); (159,71); (171,68); (160,68); (155,66); (154,62); (153,57); (156,55); (163,51); (161,45); (134,74); (132,68); (130,59); (142,69); (146,67); (149,64); (141,56); (146,55); (137,53); (134,46); (139,44); (104,99); (108,100); (111,92); (112,89); (94,80); (97,82); (99,80); (103,83); (106,76); (109,80); (99,58); (102,57); (105,55); (107,52); (141,98); (144,94); (123,87); (128,87); (131,87); (121,82); (127,81); (132,82); (139,63); (143,64); (145,60); (146,63); (149,61); (164,97); (163,85); (168,84); (167,81); (169,78); (173,79); (171,108); (176,107); (168,105); (173,105); (172,102); (177,103); (173,100); (178,97); (179,94); (179,90).

#### Can Piteu-Can Roqueta

(12,179); (21,179); (26,181); (28,179); (33,180); (38,182); (42,182); (47,181); (56,183); (61,182); (64,184); (37,179); (33,177); (27,176); (20,175); (13,172); (18,169); (65,178); (64,174); (66,171); (74,168); (67,167); (68,164); (67,162); (71,157); (70,155); (16,150); (12,148); (20,145); (17,145); (16,141); (34,138); (117,179); (116,177); (118,173); (119,171); (120,168); (122,166); (121,165); (120,161); (124,160); (122,157); (123,156); (123,153);

(137,151); (104,146); (95,143); (96,140); (103,139); (103,135); (107,134); (113,132); (109,130); (114,126); (116,126); (136,131); (113,124); (111,120); (112,116); (115,115); (121,119); (101,115); (109,111); (101,111); (122,103); (114,99); (121,97); (129,96); (133,94); (94,106); (94,104); (89,104); (78,106); (86,111); (79,111); (74,113); (67,113); (56,107); (50,110); (51,115); (48,111); (49,119); (42,113); (38,111); (38,105); (38,103); (44,106); (54,105); (60,103); (52,102); (47,100); (28,99); (33,95); (35,94); (30,87); (42,92); (33,83); (27,77); (35,86); (35,85); ( 34,83); (36,80); (37,80); (35,78); (38,73); (43,81); (44,77); (50,77); (53,78); (51,80); (64,87); (52,92); (59,95); (54,98); (65,101); (70,99); (66,98); (66,91); (75,103); (80,100); (85,98); (96,101); (101,98); (94,96); (92,92); (85,93); (88,99); (75,91); (71,88); (74,86); (84,88); (79,84); (68,81); (80,80); (75,78); (91,79); (86,78); (81,75); (82,69); (73,69); (70,62); (87,69); (96,79); (78,59); (50,55); (57,54); (53,46); (67,49); (81,49); (75,45); (76,36); (65,31); (66,25); (78,27); (90,26); (87,49); (106,76); (105,68); (101,66); (94,62); (102,59); (111,57); (100,53); (105,49); (114,45); (104,43); (109,38); (119,35); (111,17); (125,45); (135,35); (141,38); (153,42); (137,47); (152,48); (132,52); (141,55); (136,60); (117,66); (133,66); (143,66); (124,67); (118,70); (130,70); (139,72); (152,70); (124,74); (125,76); (135,77); (132,76); (130,79); (121,80); (114,88); (146,86); (30,105); (32,107); (31,104); (33,105); (32,102); (33,103); (89,102); (92,101); (72,96); (95,96); (79,97); (79,94); (77,93); (72,91); ( 100,127); (101,126); (105,130); (105,126); (110,126); (110,124); (99,122); (105,122); (108,121); (107,119); (106,118); (90,118); (90,120); (92,123); (92,121); (94,122); (96,122); (96,121); (97,119); (90,115); (91,113); (97,117); (99,117); (100,115); (102,115); (105,114); (88,107); (93,110); (95,112); (98,113); (99,110); (92,175); (93,177); (96,175); (99,174); (99,177); (98,180); (101,176); (101,178); (103,176); (105,180); (107,177); (109,179); (112,180); (114,179); (111,177); (112,175); (89,169); (88,166); (91,166); (93,166); (92,168); (96,167); (97,169); (100,170); (91,162); (92,163); (95,160); (95,163); (96,161); (98,162); (100,163); (91,157); (92,157); (94,156); (96,157); (97,157); (99,157); (101,158); (100,159); (100,161); (89,150); (90,152); (91,151); (93,154); (94,151); (96,150); (103,171); (106,170); (106,173); (109,169); (109,172); (111,172); (102,167); (103,166); (104,168); (106,167); (108,166); (109,167); (110,165); (111,164); (112,168); (113,166); (103,164); (106,164); (107,164); (107,163); (102, 162); (104,161); (103,160); (106,160); (105,159); (105,157); (97,155); (98,152); (99,154); (101,155); (103,154); (103,157); (104,155); (97,147); (99,146); (102,145); (101,149); (100,151); (105,150); (104,152); (115,173); (115,171); (117,169); (119,166); (115,165); (118,164); (112,163); (113,162); (116,163); (116,161); (109,162); (107,160); (101,162); (101,160); (107,157); (108,158); (109,157); (111,153); (112,155); (115,160); (116,158); (118,158); (113,158); (114,157); (114,155); (117,156); (117,154); (120,156); (119,154); (73,151); (76,154); (77,154); (80,156); (75,148); (75,149); (76,150); (78,151);

(81,153); (72,137); (74,138); (75,140); (72,140); (73,142); (75,145); (78,141); (77,142); (80,144); (79,145); (75,133); (78,132); (75,135); (77,135); (78,134); (77,137); (78,136); (79,136); (80,137); (80,140); (75,129); (76,128); (77,127); (74,127); (75,126); (74,125); (74,124); (75,123); (73,123); (72,121); (73,118); (74,116); (83,152); (86,155); (85,153); (85,151); (84,149); (77,148); (79,148); (80,149); (81, 148); (83,147); (84,145); (82,141); (85,142); (85,139); (87,141); (82,135); (86,136); (86,134); (89,135); (84,131); (84,129); (80,130); (78,130); (86,124); (80,125); (78,124); (80,123); (81,123); (82,122); (77,118); (77,120); (80,120); (81,120); (82,118); (89,146); (92,146); (90,143); (90,141); (92,139); (89,128); (92,127); (94,130); (92,132); (94,133); (92,134); (97,137); (98,134); (99,131); (9,157); (8,162); (12,158); (14,161); (13,169); (14,167); (17,165); (18,163); (21,164); (25,166); (27,167); (21,160); (24,161); (26,159); (25,156); (27,157); (19,155); (22,153); (32,172); (36,173); (39,174); (46,179); (43,178); (43,175); (44,173); (46,173); (47,176); (30,165); (34,168); (36,170); (39,171); (38,167); (39,167); (41,169); (44,165); (44,169); (46,168); (47,166); (32,160); (35,157); (34,164); (34,163); (36,161); (37,159); (39,157); (39,161); (40,159); (40,158); (42,157); (32,157); (32,156); (33,154); (36,154); (32,152); (35,150); (28,152); (31,150); (30,143); (31,147); (33,145); (40,165); (41,162); (43,160); (44,163); (44,161); (46,162); (42,164); (50,162); (49,163); (49,161); (48,160); (37,151); (38,153); (40,154); (41,152); (41,150); (41,148); (39,148); (37,148); (37,146); (36,143); (37,143); (40,143); (41,141); (42,143); (42,145); (45,147); (44,149); (44,151); (52,181); (54,181); (51,179); (54,177); (57,175); (61,176); (51,173); (54,173); (56,170); (57,172); (60,173); (59,169); (58,174); (51,167); (52,164); (53,160); (55,167); (56,165); (58,161); (60,166); (63,166); (65,167); (45,158); (44,156); (45,154); (45,152); (47,1516); (50,157); (53,156); (56,155); (57,154); (47,153); (49,153); (51,153); (53,153); (54,154); (56,153); (47,149); (49,149); (52,149); (53,149); (56,149); (53,151); (49,148); (51,146); (53,147); (54,145); (56,147); (56,149); (85,157); (59,154); (60,157); (61,159); (61,156); (63,161); (63,159); (63,157); (64,155); (65,157); (66,158); (66,155); (61,153); (59,151); (60,149); (59,147); (58,145); (60,145); (61,147); (61,148); (63,150); (65,152); (24,129); (24,127); (25,129); (21,120); (22,119); ( 23,122); (26,115); (29,115); (30,115); (26,124); (28,127); (28,124); (30,123); (31,121); (29,121); (34,128); (35,124); (37,124); (38,122); (39,120); (41,119); (41,117); (39,116); (38,114); (38,130); (40,126); (42,123); (40,133); (41,131); (42,129); (43,127); (40,136); (42,135); (44,134); (46,132); (45,129); (45,127); (47,128); (48,125); (47,122); (45,120); (44,137); (45,140); (46,139); (46,137); (50,135); (52,132); (49,130); (51,128); (48,142); (51,142); (56,142); (55,141); (54,140); (54,139); (54,137); (53,136); (55,135); (57,134); (59,133); (57,137); (59,139); (51,122); (51,125); (53,127); (55,128); (55,122); (56,124); (57,127); (59,128); (59,123); (61,128); (62,144); (63,147); (64,148); (68,149); (63,142); (64,143); (65,144); (65,146); (67,145); (68,146); (71,148);

(65,140); (67,139); (68,138); (63,137); (65,136); (67,136); (63,134); (65,134); (68,134); (61,131); (64,130); (63,132); (65,132); (67,132); (69,130); (62,124); (63,125); (65,127); (65,125); (64,124); (63,122); (67,123); (68,124); (69,128); (71, 128); (72,130); (70,125); (69,121); (58,118); (59,119); (63,118); (64,119); (68,118); (69,114); (59,112); (60,112); (62,114).

#### Molá

(9,21); (37,9); (25,35); (36,24); (51,10); (49,29); (44,35); (65,11); (84,13); (76,33); (79,36); (85,46); (98,47); (110,41); (120,37); (119,22); (106,14); (117,5); (134,7); (98,55); (111,62); (124,54); (128,48); (140,49); (135,39); (134,29); (60,69); (40,88); (150,37); (148,28); (155,19); (156,8); (164,34); (164,21); (162,14); (173,32); (174,6); (184,28); (186,31); (190,26); (199,28); (204,28); (215,23); (199,17); (192,3); (234,16); (226,12); (225,5); (238,1); (250,20); (248,33); (161,46); (146,52); (175,50); (177,41); (147,41); (147,59); (228,48); (262,49); (218,55); (250,60); (239,61); (218,55); (234,61); (247,70); (211,59); (227,63); (205,59); (197,65); (197,72); (188,68); (171,64); (173,67); (161,69); (150,72); (220,81); (207,83); (195,88); (180,87); (167,94); (147,94); (119,87); (154,96); (143,96); (134,99); (170,103); (153,105); (161,110); (175,107); (175,109); (190,109); (202,106); (197,114); (183,118); (197,114); (232,119); (171,128); (186,136); (197,136); (210,136); (208,141); (210,154); (206,169); ( 192,155); (199,171); (192,162); (192,177); (193,192); (178,173); (182,156); (180,149); (172,164); (170,154); (170,143); (168,165); (162,148); (158,145); (162,142); (157,154); (160,177); (160,168); (153,159); (154,167); (152,145); (150,141); (147,132); (143,168); (145,161); (140,156); (142,142); (126,164); (133,159); (132,151); (135,146); (130,140); (120,137); (109,135); (135,125); (126,120); (120,124); (114,118); (105,114); (94,116); (79,106); (65,112); (75,118); (50,116); (44,123); (55,122); (76,128); (84,128); (82,133); (68,134); (61,140); (85,138); (95,145); (100,153); (89,153); (109,170); (65,159); (80,153); (80,168); (86,176); (95,178).

## A2. Datos del levantamiento del santuario de Castilmocho

| ID   | Hz       | V | Dg | hinst | hjal |
|------|----------|---|----|-------|------|
| REF1 | 312,6055 | - | -  | -     | -    |
| REF1 | 112,6055 | - | -  | -     | -    |
| REF1 | 312,6054 | - | -  | -     | -    |
| REF1 | 112,6050 | - | -  | -     | -    |
| REF3 | 308,5916 | - | -  | -     | -    |
| REF3 | 108,5621 | - | -  | -     | -    |
| REF3 | 308,5718 | - | -  | -     | -    |
| REF3 | 108,5831 | - | -  | -     | -    |
| REF1 | 312,5990 | - | -  | -     | -    |
| REF1 | 112,5993 | - | -  | -     | -    |
| REF1 | 312,5997 | - | -  | -     | -    |
| REF1 | 112,5970 | - | -  | -     | -    |
| REF3 | 108,5757 | - | -  | -     | -    |
| REF3 | 308,5789 | - | -  | -     | -    |
| REF3 | 108,5786 | - | -  | -     | -    |
| REF3 | 308,5784 | - | -  | -     | -    |

### CONTORNO

| ID | Hz      | V        | Dg     | hinst | hjal |
|----|---------|----------|--------|-------|------|
| 1  | 87,1514 | 292,9764 | 14,901 | 1,469 | 2,00 |
| 2  | 82,4864 | 293,6216 | 14,028 | 1,469 | 1,30 |
| 3  | 78,3621 | 295,1096 | 12,938 | 1,469 | 1,30 |
| 4  | 73,9602 | 296,9426 | 12,501 | 1,469 | 1,30 |
| 5  | 71,0314 | 302,1783 | 12,688 | 1,469 | 2,00 |
| 6  | 67,6685 | 299,4089 | 11,096 | 1,469 | 1,30 |
| 7  | 62,9738 | 301,2296 | 10,320 | 1,469 | 1,30 |
| 8  | 57,3680 | 302,3833 | 10,540 | 1,469 | 1,30 |
| 9  | 53,5474 | 302,0660 | 10,029 | 1,469 | 1,30 |
| 10 | 43,6318 | 299,9911 | 9,862  | 1,469 | 1,30 |



| ID | Hz       | V        | Dg     | hinst | hjal |
|----|----------|----------|--------|-------|------|
| 11 | 35,6391  | 302,4837 | 9,938  | 1,469 | 2,00 |
| 12 | 118,1828 | 295,4244 | 14,605 | 1,469 | 2,15 |
| 13 | 118,2803 | 297,0413 | 13,222 | 1,469 | 2,15 |
| 14 | 121,4615 | 295,0176 | 12,364 | 1,469 | 1,30 |
| 15 | 126,1744 | 301,6158 | 12,276 | 1,469 | 2,15 |
| 16 | 129,6223 | 305,2549 | 9,406  | 1,469 | 1,30 |
| 17 | 125,4140 | 299,1946 | 8,111  | 1,469 | 1,30 |
| 18 | 134,6776 | 304,9718 | 7,127  | 1,469 | 1,30 |
| 19 | 141,1067 | 306,6767 | 5,807  | 1,469 | 1,30 |
| 20 | 156,1403 | 310,7973 | 5,173  | 1,469 | 1,30 |
| 21 | 164,1717 | 312,8423 | 4,696  | 1,469 | 1,30 |
| 22 | 184,1819 | 313,2052 | 4,775  | 1,469 | 1,30 |
| 23 | 199,1033 | 314,3802 | 3,426  | 1,469 | 1,30 |
| 24 | 223,5589 | 313,3185 | 3,672  | 1,469 | 1,30 |
| 25 | 224,4943 | 316,6976 | 4,006  | 1,469 | 1,30 |
| 26 | 235,4659 | 313,0709 | 5,063  | 1,469 | 1,30 |
| 27 | 236,0531 | 314,5900 | 5,331  | 1,469 | 1,30 |
| 28 | 242,3604 | 311,9220 | 6,122  | 1,469 | 1,30 |
| 29 | 241,5484 | 317,0010 | 6,877  | 1,469 | 1,30 |
| 30 | 246,3324 | 317,0965 | 6,519  | 1,469 | 1,30 |
| 31 | 247,3691 | 315,1801 | 6,235  | 1,469 | 1,30 |
| 32 | 253,0413 | 314,9447 | 6,069  | 1,469 | 1,30 |
| 33 | 263,1638 | 314,1031 | 6,442  | 1,469 | 1,30 |
| 34 | 268,8393 | 312,4303 | 7,063  | 1,469 | 1,30 |
| 35 | 271,1219 | 309,4883 | 8,308  | 1,469 | 1,30 |
| 36 | 273,3711 | 308,6017 | 9,686  | 1,469 | 1,30 |
| 37 | 271,7432 | 306,8389 | 10,699 | 1,469 | 1,30 |
| 38 | 262,0020 | 308,5349 | 10,338 | 1,469 | 1,30 |
| 39 | 261,9144 | 309,1344 | 10,010 | 1,469 | 1,30 |
| 40 | 256,1652 | 309,9397 | 10,026 | 1,469 | 1,30 |
| 41 | 253,7847 | 312,0784 | 9,466  | 1,469 | 1,30 |
| 42 | 249,3881 | 313,4645 | 8,681  | 1,469 | 1,30 |
| 43 | 242,3473 | 315,4067 | 8,531  | 1,469 | 1,30 |
| 44 | 243,0470 | 316,5084 | 7,618  | 1,469 | 1,30 |
| 45 | 240,9413 | 315,4893 | 8,614  | 1,469 | 1,30 |

| ID | Hz       | V        | Dg     | hinst | hjal |
|----|----------|----------|--------|-------|------|
| 46 | 232,0411 | 316,2182 | 8,973  | 1,469 | 1,30 |
| 47 | 226,9022 | 315,8904 | 9,432  | 1,469 | 1,30 |
| 48 | 227,1526 | 315,3466 | 9,746  | 1,469 | 1,30 |
| 49 | 223,0436 | 315,0571 | 10,054 | 1,469 | 1,30 |
| 50 | 222,7111 | 314,2840 | 10,581 | 1,469 | 1,30 |
| 51 | 221,6776 | 313,8335 | 10,945 | 1,469 | 1,30 |
| 52 | 222,6161 | 314,5392 | 13,260 | 1,469 | 2,00 |
| 53 | 223,6386 | 313,2009 | 13,938 | 1,469 | 2,00 |
| 54 | 227,4975 | 311,4828 | 14,274 | 1,469 | 2,00 |
| 55 | 227,9568 | 310,2448 | 14,008 | 1,469 | 1,30 |
| 56 | 235,1693 | 308,9898 | 14,603 | 1,469 | 1,30 |
| 57 | 244,0104 | 307,0174 | 16,160 | 1,469 | 1,50 |
| 58 | 247,3818 | 306,4083 | 15,841 | 1,469 | 1,50 |
| 59 | 247,7613 | 306,7346 | 14,953 | 1,469 | 1,50 |
| 60 | 246,4529 | 306,8154 | 14,753 | 1,469 | 1,50 |
| 61 | 251,1776 | 306,6801 | 12,996 | 1,469 | 1,30 |
| 62 | 257,3204 | 307,3317 | 12,227 | 1,469 | 1,30 |
| 63 | 260,2624 | 306,7340 | 12,417 | 1,469 | 1,30 |
| 64 | 268,3558 | 307,3473 | 11,696 | 1,469 | 1,30 |
| 65 | 271,7223 | 306,5659 | 11,969 | 1,469 | 1,30 |
| 66 | 271,2548 | 308,3934 | 10,882 | 1,469 | 1,30 |
| 67 | 261,7846 | 310,2815 | 10,440 | 1,469 | 1,30 |
| 68 | 261,1186 | 310,4832 | 10,184 | 1,469 | 1,30 |
| 69 | 255,6007 | 310,9920 | 10,247 | 1,469 | 1,30 |
| 70 | 254,9423 | 312,3065 | 9,585  | 1,469 | 1,30 |
| 71 | 253,0963 | 312,9921 | 9,305  | 1,469 | 1,30 |
| 72 | 246,8389 | 314,8158 | 9,077  | 1,469 | 1,30 |
| 73 | 243,4284 | 315,4187 | 9,122  | 1,469 | 1,30 |
| 74 | 240,8453 | 316,1820 | 8,916  | 1,469 | 1,30 |
| 75 | 240,4520 | 316,3055 | 8,598  | 1,469 | 1,30 |

## RELLENO 1

| ID | Hz       | V        | Dg    | hinst | hjal |
|----|----------|----------|-------|-------|------|
| 76 | 268,0194 | 309,5146 | 9,741 | 1,469 | 1,30 |
| 77 | 263,9904 | 310,4626 | 9,481 | 1,469 | 1,30 |
| 78 | 259,1638 | 311,6282 | 9,341 | 1,469 | 1,30 |
| 79 | 258,4253 | 312,2677 | 8,670 | 1,469 | 1,30 |
| 80 | 261,3347 | 311,7443 | 8,731 | 1,469 | 1,30 |
| 81 | 264,5597 | 311,0529 | 8,845 | 1,469 | 1,30 |
| 82 | 267,9007 | 310,4163 | 9,039 | 1,469 | 1,30 |
| 83 | 266,2242 | 311,6180 | 8,392 | 1,469 | 1,30 |
| 84 | 262,2500 | 312,5358 | 8,190 | 1,469 | 1,30 |
| 85 | 257,4648 | 313,4018 | 8,138 | 1,469 | 1,30 |
| 86 | 257,0466 | 313,9829 | 7,741 | 1,469 | 1,30 |
| 87 | 260,5943 | 313,4766 | 7,602 | 1,469 | 1,30 |
| 88 | 265,6932 | 312,9081 | 7,535 | 1,469 | 1,30 |
| 89 | 265,0347 | 313,2925 | 7,000 | 1,469 | 1,30 |
| 90 | 260,2312 | 314,2371 | 6,920 | 1,469 | 1,30 |
| 91 | 255,4148 | 314,9779 | 6,979 | 1,469 | 1,30 |

## RELLENO 2

| ID  | Hz       | V        | Dg     | hinst | hjal |
|-----|----------|----------|--------|-------|------|
| 92  | 266,0356 | 311,7935 | 13,087 | 1,469 | 1,30 |
| 93  | 229,8636 | 311,3417 | 13,137 | 1,469 | 1,30 |
| 94  | 234,1383 | 310,7792 | 13,273 | 1,469 | 1,30 |
| 95  | 238,4250 | 309,3957 | 13,511 | 1,469 | 1,30 |
| 96  | 242,4116 | 308,1673 | 13,566 | 1,469 | 1,30 |
| 97  | 246,0037 | 307,9714 | 12,970 | 1,469 | 1,30 |
| 98  | 242,1390 | 310,2296 | 12,438 | 1,469 | 1,30 |
| 99  | 236,0526 | 312,5480 | 12,064 | 1,469 | 1,30 |
| 100 | 232,0492 | 313,5530 | 11,881 | 1,469 | 1,30 |
| 101 | 227,8681 | 314,2309 | 11,697 | 1,469 | 1,30 |
| 102 | 228,2660 | 315,5311 | 10,811 | 1,469 | 1,30 |
| 103 | 233,5698 | 315,3225 | 10,712 | 1,469 | 1,30 |

| ID  | Hz       | V        | Dg     | hinst | hjal |
|-----|----------|----------|--------|-------|------|
| 104 | 238,4499 | 314,0836 | 10,835 | 1,469 | 1,30 |
| 105 | 242,6802 | 312,8135 | 11,127 | 1,469 | 1,30 |
| 106 | 246,1371 | 310,8112 | 11,581 | 1,469 | 1,30 |
| 107 | 249,2267 | 308,8176 | 12,061 | 1,469 | 1,30 |
| 108 | 253,0066 | 308,4920 | 11,871 | 1,469 | 1,30 |
| 109 | 248,2334 | 311,0877 | 11,256 | 1,469 | 1,30 |
| 110 | 242,1072 | 313,2835 | 10,870 | 1,469 | 1,30 |
| 111 | 236,2244 | 314,8405 | 10,680 | 1,469 | 1,30 |
| 112 | 230,8487 | 315,9058 | 10,330 | 1,469 | 1,30 |
| 113 | 232,7218 | 316,5201 | 9,764  | 1,469 | 1,30 |
| 114 | 239,1600 | 315,2480 | 10,009 | 1,469 | 1,30 |
| 115 | 246,9834 | 312,9495 | 10,651 | 1,469 | 1,30 |
| 116 | 252,4043 | 309,9596 | 11,337 | 1,469 | 1,30 |
| 117 | 256,2791 | 308,3040 | 11,800 | 1,469 | 1,30 |
| 118 | 257,9652 | 309,7952 | 11,046 | 1,469 | 1,30 |
| 119 | 252,7996 | 312,1738 | 10,346 | 1,469 | 1,30 |
| 120 | 248,7285 | 313,8501 | 9,736  | 1,469 | 1,30 |
| 121 | 243,9132 | 315,1740 | 9,197  | 1,469 | 1,30 |
| 122 | 237,5271 | 316,0499 | 9,343  | 1,469 | 1,30 |

### Coordenadas de los puntos del levantamiento del santuario de Castilmocho

| ID | UTM X      | UTM Y       | Altura   | DESCRIPTOR |
|----|------------|-------------|----------|------------|
| 1  | 605163,343 | 4523394,256 | 1439,646 | CONTORNO   |
| 2  | 605163,346 | 4523392,901 | 1440,583 | CONTORNO   |
| 3  | 605163,715 | 4523391,582 | 1440,994 | CONTORNO   |
| 4  | 605163,616 | 4523390,618 | 1441,386 | CONTORNO   |
| 5  | 605163,175 | 4523390,196 | 1441,720 | CONTORNO   |
| 6  | 605164,347 | 4523388,959 | 1441,883 | CONTORNO   |
| 7  | 605164,784 | 4523387,941 | 1442,186 | CONTORNO   |
| 8  | 605164,316 | 4523387,123 | 1442,381 | CONTORNO   |
| 9  | 605164,680 | 4523386,411 | 1442,312 | CONTORNO   |

| ID | UTM X      | UTM Y       | Altura   | DESCRIPTOR |
|----|------------|-------------|----------|------------|
| 10 | 605164,672 | 4523384,856 | 1441,985 | CONTORNO   |
| 11 | 605164,643 | 4523383,613 | 1441,674 | CONTORNO   |
| 12 | 605169,280 | 4523398,138 | 1440,088 | CONTORNO   |
| 13 | 605169,789 | 4523396,877 | 1440,522 | CONTORNO   |
| 14 | 605170,685 | 4523396,261 | 1441,020 | CONTORNO   |
| 15 | 605171,575 | 4523396,460 | 1441,448 | CONTORNO   |
| 16 | 605172,769 | 4523393,756 | 1442,762 | CONTORNO   |
| 17 | 605172,483 | 4523392,397 | 1441,884 | CONTORNO   |
| 18 | 605173,752 | 4523391,612 | 1442,542 | CONTORNO   |
| 19 | 605174,480 | 4523390,324 | 1442,594 | CONTORNO   |
| 20 | 605175,680 | 4523389,516 | 1442,860 | CONTORNO   |
| 21 | 605176,123 | 4523388,865 | 1442,927 | CONTORNO   |
| 22 | 605177,424 | 4523388,217 | 1442,970 | CONTORNO   |
| 23 | 605177,150 | 4523386,618 | 1442,754 | CONTORNO   |
| 24 | 605177,977 | 4523385,556 | 1442,749 | CONTORNO   |
| 25 | 605178,258 | 4523385,579 | 1443,025 | CONTORNO   |
| 26 | 605179,462 | 4523385,030 | 1443,019 | CONTORNO   |
| 27 | 605179,701 | 4523385,005 | 1443,197 | CONTORNO   |
| 28 | 605180,544 | 4523384,482 | 1443,126 | CONTORNO   |
| 29 | 605181,162 | 4523384,560 | 1443,801 | CONTORNO   |
| 30 | 605180,797 | 4523384,087 | 1443,716 | CONTORNO   |
| 31 | 605180,563 | 4523384,005 | 1443,459 | CONTORNO   |
| 32 | 605180,337 | 4523383,498 | 1443,398 | CONTORNO   |
| 33 | 605180,458 | 4523382,465 | 1443,402 | CONTORNO   |
| 34 | 605180,835 | 4523381,679 | 1443,357 | CONTORNO   |
| 35 | 605181,880 | 4523380,880 | 1443,220 | CONTORNO   |
| 36 | 605182,960 | 4523379,962 | 1443,291 | CONTORNO   |
| 37 | 605184,000 | 4523379,706 | 1443,134 | CONTORNO   |
| 38 | 605184,255 | 4523381,329 | 1443,368 | CONTORNO   |
| 39 | 605183,938 | 4523381,448 | 1443,418 | CONTORNO   |
| 40 | 605184,177 | 4523382,310 | 1443,545 | CONTORNO   |
| 41 | 605183,657 | 4523382,788 | 1443,772 | CONTORNO   |
| 42 | 605182,954 | 4523383,520 | 1443,809 | CONTORNO   |
| 43 | 605182,811 | 4523384,458 | 1444,031 | CONTORNO   |
| 44 | 605181,891 | 4523384,387 | 1443,940 | CONTORNO   |

| ID | UTM X      | UTM Y       | Altura   | DESCRIPTOR |
|----|------------|-------------|----------|------------|
| 45 | 605182,889 | 4523384,642 | 1444,062 | CONTORNO   |
| 46 | 605183,114 | 4523385,855 | 1444,248 | CONTORNO   |
| 47 | 605183,425 | 4523386,647 | 1444,316 | CONTORNO   |
| 48 | 605183,749 | 4523386,686 | 1444,313 | CONTORNO   |
| 49 | 605183,889 | 4523387,365 | 1444,342 | CONTORNO   |
| 50 | 605184,392 | 4523387,573 | 1444,341 | CONTORNO   |
| 51 | 605184,695 | 4523387,847 | 1444,346 | CONTORNO   |
| 52 | 605186,872 | 4523388,353 | 1444,288 | CONTORNO   |
| 53 | 605187,626 | 4523388,357 | 1444,156 | CONTORNO   |
| 54 | 605188,226 | 4523387,645 | 1443,847 | CONTORNO   |
| 55 | 605188,037 | 4523387,500 | 1444,231 | CONTORNO   |
| 56 | 605188,912 | 4523386,018 | 1444,042 | CONTORNO   |
| 57 | 605190,580 | 4523383,954 | 1443,564 | CONTORNO   |
| 58 | 605190,226 | 4523383,132 | 1443,378 | CONTORNO   |
| 59 | 605189,330 | 4523383,124 | 1443,365 | CONTORNO   |
| 60 | 605189,156 | 4523383,443 | 1443,363 | CONTORNO   |
| 61 | 605187,309 | 4523382,622 | 1443,348 | CONTORNO   |
| 62 | 605186,309 | 4523381,589 | 1443,391 | CONTORNO   |
| 63 | 605186,353 | 4523380,990 | 1443,297 | CONTORNO   |
| 64 | 605185,140 | 4523379,817 | 1443,333 | CONTORNO   |
| 65 | 605185,131 | 4523379,132 | 1443,219 | CONTORNO   |
| 66 | 605184,171 | 4523379,711 | 1443,417 | CONTORNO   |
| 67 | 605184,322 | 4523381,344 | 1443,665 | CONTORNO   |
| 68 | 605184,109 | 4523381,524 | 1443,656 | CONTORNO   |
| 69 | 605184,382 | 4523382,355 | 1443,747 | CONTORNO   |
| 70 | 605183,731 | 4523382,599 | 1443,828 | CONTORNO   |
| 71 | 605183,494 | 4523382,919 | 1443,872 | CONTORNO   |
| 72 | 605183,332 | 4523383,830 | 1444,080 | CONTORNO   |
| 73 | 605183,381 | 4523384,302 | 1444,174 | CONTORNO   |
| 74 | 605183,158 | 4523384,658 | 1444,228 | CONTORNO   |
| 75 | 605182,845 | 4523384,705 | 1444,165 | CONTORNO   |

| ID | UTM X      | UTM Y       | Altura   | DESCRIPTOR |
|----|------------|-------------|----------|------------|
| 76 | 605183,347 | 4523380,672 | 1443,437 | RELL1      |

|    |            |             |            |       |
|----|------------|-------------|------------|-------|
| 77 | 605183,312 | 4523381,334 | 1443,538   | RELL1 |
| 78 | 605183,369 | 4523382,054 | 1443,683   | RELL1 |
| 79 | 605182,745 | 4523382,333 | 1443,647   | RELL1 |
| 80 | 605182,705 | 4523381,937 | 1443,588   | RELL1 |
| 81 | 605182,683 | 4523381,481 | 1443,514   | RELL1 |
| 82 | 605182,700 | 4523380,975 | 1443,459   | RELL1 |
| 83 | 605182,174 | 4523381,442 | 1443,509   | RELL1 |
| 84 | 605182,144 | 4523381,995 | 1443,589   | RELL1 |
| 85 | 605182,243 | 4523382,592 | 1443,687   | RELL1 |
| 86 | 605181,864 | 4523382,740 | 1443,673   | RELL1 |
| 87 | 605181,635 | 4523382,370 | 1443,584   | RELL1 |
| 88 | 605181,389 | 4523381,82  | 7 1443,504 | RELL1 |
| 89 | 605180,920 | 4523382,090 | 1443,437   | RELL1 |
| 90 | 605180,991 | 4523382,607 | 1443,521   | RELL1 |
| 91 | 605181,158 | 4523383,093 | 1443,613   | RELL1 |

| ID  | UTM X      | UTM Y       | Altura   | DESCRIPTOR |
|-----|------------|-------------|----------|------------|
| 92  | 605186,460 | 4523379,741 | 1444,397 | RELL2      |
| 93  | 605187,237 | 4523386,929 | 1444,314 | RELL2      |
| 94  | 605187,521 | 4523386,089 | 1444,223 | RELL2      |
| 95  | 605187,876 | 4523385,226 | 1443,973 | RELL2      |
| 96  | 605187,983 | 4523384,388 | 1443,722 | RELL2      |
| 97  | 605187,367 | 4523383,670 | 1443,606 | RELL2      |
| 98  | 605186,806 | 4523384,455 | 1443,976 | RELL2      |
| 99  | 605186,314 | 4523385,588 | 1444,349 | RELL2      |
| 100 | 605186,010 | 4523386,294 | 1444,497 | RELL2      |
| 101 | 605185,669 | 4523386,999 | 1444,579 | RELL2      |
| 102 | 605184,789 | 4523386,738 | 1444,598 | RELL2      |
| 103 | 605184,849 | 4523385,866 | 1444,540 | RELL2      |
| 104 | 605185,087 | 4523385,080 | 1444,364 | RELL2      |
| 105 | 605185,430 | 4523384,373 | 1444,211 | RELL2      |
| 106 | 605185,915 | 4523383,745 | 1443,944 | RELL2      |
| 107 | 605186,390 | 4523383,131 | 1443,652 | RELL2      |
| 108 | 605186,108 | 4523382,461 | 1443,565 | RELL2      |
| 109 | 605185,555 | 4523383,405 | 1443,937 | RELL2      |

| ID  | UTM X      | UTM Y       | Altura   | DESCRIPTOR |
|-----|------------|-------------|----------|------------|
| 110 | 605185,163 | 4523384,473 | 1444,238 | RELL2      |
| 111 | 605184,882 | 4523385,433 | 1444,454 | RELL2      |
| 112 | 605184,395 | 4523386,239 | 1444,541 | RELL2      |
| 113 | 605183,873 | 4523385,868 | 1444,492 | RELL2      |
| 114 | 605184,245 | 4523384,929 | 1444,361 | RELL2      |
| 115 | 605184,924 | 4523383,676 | 1444,138 | RELL2      |
| 116 | 605185,568 | 4523382,666 | 1443,753 | RELL2      |
| 117 | 605185,921 | 4523381,884 | 1443,521 | RELL2      |
| 118 | 605185,088 | 4523381,782 | 1443,679 | RELL2      |
| 119 | 605184,531 | 4523382,779 | 1443,953 | RELL2      |
| 120 | 605183,977 | 4523383,494 | 1444,088 | RELL2      |
| 121 | 605183,460 | 4523384,231 | 1444,158 | RELL2      |
| 122 | 605183,558 | 4523385,135 | 1444,317 | RELL2      |

| ID          | Hz       | V        | Dg     | hinst | hjal  |
|-------------|----------|----------|--------|-------|-------|
| Referencia1 | 298,2633 | 109,1148 | 77,791 | 1,445 | 1,843 |
| Referencia1 | 98,2636  | 290,8829 | 77,791 | 1,445 | 1,843 |
| Referencia2 | 94,24708 | 102,4853 | 97,696 | 1,445 | 0,120 |
| Referencia2 | 294,2448 | 297,5103 | 97,696 | 1,445 | 0,120 |

En las medidas de Miniprisma de las referencias no se introdujo la constante del Miniprisma.

| ID  | Hz        | V         | Dg     | hinst | hjal  |
|-----|-----------|-----------|--------|-------|-------|
| 001 | 277,77850 | 106,82710 | 14,706 | 1,445 | 2,000 |
| 002 | 282,99300 | 106,67640 | 14,518 | 1,445 | 2,000 |
| 003 | 289,09396 | 105,88806 | 14,400 | 1,445 | 2,000 |
| 004 | 295,02056 | 105,55484 | 14,315 | 1,445 | 2,000 |
| 005 | 299,92882 | 105,09573 | 14,252 | 1,445 | 2,000 |
| 006 | 300,05834 | 104,15445 | 13,217 | 1,445 | 2,000 |
| 007 | 294,40691 | 104,70514 | 13,173 | 1,445 | 2,000 |



| ID  | Hz        | V         | Dg     | hinst | hjal  |
|-----|-----------|-----------|--------|-------|-------|
| 008 | 287,32966 | 105,22137 | 13,245 | 1,445 | 2,000 |
| 009 | 279,58043 | 105,70532 | 13,418 | 1,445 | 2,000 |
| 010 | 273,31197 | 105,57230 | 13,928 | 1,445 | 2,000 |
| 011 | 269,12604 | 106,23880 | 13,239 | 1,445 | 1,300 |
| 012 | 274,86918 | 107,33262 | 12,631 | 1,445 | 1,300 |
| 013 | 281,50775 | 107,03633 | 12,451 | 1,445 | 1,600 |
| 014 | 287,94690 | 106,63957 | 12,136 | 1,445 | 1,600 |
| 015 | 295,42751 | 107,19401 | 11,875 | 1,445 | 1,300 |
| 016 | 302,62500 | 105,65506 | 12,009 | 1,445 | 1,300 |
| 017 | 306,65810 | 103,71649 | 10,941 | 1,445 | 1,300 |
| 018 | 298,25765 | 105,29519 | 10,642 | 1,445 | 1,300 |
| 019 | 289,27962 | 106,41393 | 10,500 | 1,445 | 1,500 |
| 020 | 281,24300 | 105,77125 | 10,646 | 1,445 | 1,500 |
| 021 | 273,22318 | 105,11197 | 11,065 | 1,445 | 1,500 |
| 022 | 268,33134 | 103,02499 | 11,246 | 1,445 | 1,500 |
| 023 | 261,88791 | 102,45650 | 11,904 | 1,445 | 1,500 |
| 024 | 258,89523 | 101,79808 | 10,861 | 1,445 | 1,300 |
| 025 | 266,46132 | 103,17958 | 10,135 | 1,445 | 1,300 |
| 026 | 275,50102 | 105,29575 | 9,683  | 1,445 | 1,300 |
| 027 | 284,99646 | 105,79838 | 9,631  | 1,445 | 1,300 |
| 028 | 293,40590 | 105,83389 | 9,563  | 1,445 | 1,300 |
| 029 | 300,90921 | 104,21125 | 9,741  | 1,445 | 1,300 |
| 030 | 308,70581 | 102,34337 | 9,930  | 1,445 | 1,300 |
| 031 | 314,85709 | 100,68686 | 10,447 | 1,445 | 1,300 |
| 032 | 308,86469 | 101,92018 | 9,394  | 1,445 | 1,300 |
| 033 | 301,93243 | 103,77226 | 9,094  | 1,445 | 1,300 |
| 034 | 305,37496 | 102,47276 | 8,192  | 1,445 | 1,300 |
| 035 | 306,36728 | 100,66285 | 7,133  | 1,445 | 1,300 |
| 036 | 245,44246 | 104,65775 | 4,159  | 1,445 | 1,300 |
| 037 | 228,93877 | 103,90825 | 5,347  | 1,445 | 1,300 |
| 038 | 221,50046 | 103,20650 | 6,678  | 1,445 | 1,300 |
| 039 | 216,28577 | 102,11379 | 8,020  | 1,445 | 1,300 |
| 040 | 213,92721 | 102,91914 | 9,067  | 1,445 | 1,300 |
| 041 | 207,01191 | 104,35909 | 9,090  | 1,445 | 1,300 |
| 042 | 209,02313 | 103,73441 | 7,507  | 1,445 | 1,300 |

| ID  | Hz        | V         | Dg     | hinst | hjal  |
|-----|-----------|-----------|--------|-------|-------|
| 043 | 214,86850 | 104,31894 | 6,147  | 1,445 | 1,300 |
| 044 | 224,99754 | 105,30823 | 4,856  | 1,445 | 1,300 |
| 045 | 238,98950 | 104,93777 | 3,799  | 1,445 | 1,300 |
| 046 | 233,20936 | 107,82081 | 2,553  | 1,445 | 1,300 |
| 047 | 216,95837 | 107,47760 | 4,071  | 1,445 | 1,300 |
| 048 | 214,01319 | 105,36009 | 5,521  | 1,445 | 1,300 |
| 049 | 210,65943 | 103,35561 | 7,328  | 1,445 | 1,300 |
| 050 | 206,91636 | 104,36336 | 9,016  | 1,445 | 1,300 |
| 051 | 198,82913 | 105,42753 | 8,534  | 1,445 | 1,300 |
| 052 | 199,21496 | 105,64061 | 7,012  | 1,445 | 1,300 |
| 053 | 200,06811 | 107,31743 | 5,417  | 1,445 | 1,300 |
| 054 | 200,29496 | 110,66188 | 3,795  | 1,445 | 1,300 |
| 055 | 195,24002 | 116,34687 | 2,476  | 1,445 | 1,300 |
| 056 | 292,21273 | 100,97399 | 7,005  | 1,445 | 1,300 |
| 057 | 276,95667 | 101,94910 | 7,336  | 1,445 | 1,300 |
| 058 | 290,19326 | 105,72866 | 9,143  | 1,445 | 1,300 |
| 059 | 277,21915 | 105,53079 | 9,498  | 1,445 | 1,300 |
| 060 | 266,99815 | 103,34992 | 10,053 | 1,445 | 1,300 |
| 061 | 257,49466 | 101,02172 | 10,492 | 1,445 | 1,300 |
| 062 | 250,54402 | 99,18789  | 9,675  | 1,445 | 1,300 |
| 063 | 259,38872 | 101,49870 | 8,484  | 1,445 | 1,300 |
| 064 | 264,68785 | 102,36938 | 7,389  | 1,445 | 1,300 |
| 065 | 253,03002 | 100,92301 | 8,440  | 1,445 | 1,300 |
| 066 | 245,87966 | 98,52761  | 9,661  | 1,445 | 1,300 |
| 067 | 237,29040 | 98,77320  | 9,359  | 1,445 | 1,300 |
| 068 | 241,85005 | 100,29269 | 7,818  | 1,445 | 1,300 |
| 069 | 250,27730 | 102,36852 | 6,462  | 1,445 | 1,300 |
| 070 | 249,19876 | 102,77150 | 5,343  | 1,445 | 1,300 |
| 071 | 238,59822 | 102,30093 | 6,302  | 1,445 | 1,300 |
| 072 | 232,99058 | 100,73339 | 7,508  | 1,445 | 1,300 |
| 073 | 227,89976 | 100,48693 | 8,336  | 1,445 | 1,300 |
| 074 | 218,90505 | 101,66416 | 8,502  | 1,445 | 1,300 |
| 075 | 224,78370 | 102,09409 | 7,093  | 1,445 | 1,300 |
| 076 | 234,23566 | 102,86983 | 5,965  | 1,445 | 1,300 |
| 077 | 246,18497 | 103,16271 | 5,172  | 1,445 | 1,300 |

| ID  | Hz        | V         | Dg     | hinst | hjal  |
|-----|-----------|-----------|--------|-------|-------|
| 078 | 186,96735 | 109,68664 | 1,800  | 1,445 | 1,300 |
| 079 | 87,59762  | 119,12668 | 1,926  | 1,445 | 1,300 |
| 080 | 138,08565 | 121,98602 | 2,757  | 1,445 | 1,300 |
| 081 | 160,48875 | 115,57890 | 4,426  | 1,445 | 1,300 |
| 082 | 167,22350 | 111,37563 | 5,855  | 1,445 | 1,300 |
| 083 | 171,12661 | 108,60777 | 7,837  | 1,445 | 1,300 |
| 084 | 161,54166 | 111,56305 | 7,382  | 1,445 | 1,300 |
| 085 | 153,26054 | 113,89420 | 6,010  | 1,445 | 1,300 |
| 086 | 137,36871 | 117,10507 | 5,228  | 1,445 | 1,300 |
| 087 | 113,88039 | 120,89639 | 4,914  | 1,445 | 1,300 |
| 088 | 118,55577 | 122,26626 | 6,071  | 1,445 | 1,300 |
| 089 | 132,37249 | 119,72596 | 6,791  | 1,445 | 1,300 |
| 090 | 146,90545 | 116,52890 | 7,487  | 1,445 | 1,300 |
| 091 | 149,75513 | 115,11121 | 8,477  | 1,445 | 1,300 |
| 092 | 141,24656 | 117,13046 | 9,081  | 1,445 | 1,300 |
| 093 | 131,32904 | 119,86745 | 8,174  | 1,445 | 1,300 |
| 094 | 120,85491 | 123,52871 | 7,241  | 1,445 | 1,300 |
| 095 | 111,03712 | 125,20844 | 8,738  | 1,445 | 1,300 |
| 096 | 117,19332 | 122,55523 | 9,859  | 1,445 | 1,300 |
| 097 | 122,34179 | 121,30539 | 10,892 | 1,445 | 1,300 |
| 098 | 114,57578 | 122,04371 | 11,407 | 1,445 | 1,300 |
| 099 | 108,60872 | 123,08709 | 11,007 | 1,445 | 1,300 |
| 100 | 101,95722 | 123,81617 | 11,204 | 1,445 | 1,300 |
| 101 | 104,15291 | 122,46515 | 12,087 | 1,445 | 1,300 |
| 102 | 300,30522 | 101,71972 | 7,632  | 1,445 | 1,300 |
| 103 | 295,10459 | 101,97282 | 8,257  | 1,445 | 1,300 |
| 104 | 286,99648 | 101,88041 | 8,406  | 1,445 | 1,300 |
| 105 | 276,46868 | 102,48887 | 7,800  | 1,445 | 1,300 |
| 106 | 287,49800 | 105,07447 | 8,736  | 1,445 | 1,300 |
| 107 | 296,98363 | 104,51499 | 8,420  | 1,445 | 1,300 |
| 108 | 319,22379 | 94,84897  | 6,726  | 1,445 | 1,300 |
| 109 | 301,17373 | 95,65505  | 6,241  | 1,445 | 1,300 |
| 110 | 281,73444 | 94,40216  | 6,238  | 1,445 | 1,300 |
| 111 | 268,11644 | 95,87645  | 6,527  | 1,445 | 1,300 |
| 112 | 260,68735 | 96,37257  | 6,105  | 1,445 | 1,300 |

| ID  | Hz        | V         | Dg     | hinst | hjal  |
|-----|-----------|-----------|--------|-------|-------|
| 113 | 256,53570 | 96,47693  | 4,946  | 1,445 | 1,300 |
| 114 | 260,28505 | 96,44170  | 4,231  | 1,445 | 1,300 |
| 115 | 254,91302 | 94,63504  | 3,724  | 1,445 | 1,300 |
| 116 | 249,56649 | 95,63360  | 2,722  | 1,445 | 1,300 |
| 117 | 260,27549 | 95,22511  | 1,610  | 1,445 | 1,300 |
| 118 | 376,96599 | 81,34164  | 1,746  | 1,445 | 1,300 |
| 119 | 308,67346 | 98,63413  | 6,514  | 1,445 | 1,300 |
| 120 | 293,61898 | 100,02794 | 6,338  | 1,445 | 1,300 |
| 121 | 267,76749 | 102,31087 | 6,900  | 1,445 | 1,300 |
| 122 | 257,25835 | 102,11761 | 6,070  | 1,445 | 1,300 |
| 123 | 254,53313 | 103,23297 | 4,431  | 1,445 | 1,300 |
| 124 | 250,67517 | 104,24225 | 3,789  | 1,445 | 1,300 |
| 125 | 244,51060 | 107,23894 | 2,640  | 1,445 | 1,300 |
| 126 | 244,44547 | 107,44544 | 1,793  | 1,445 | 1,300 |
| 127 | 330,47426 | 93,61765  | 5,495  | 1,445 | 1,300 |
| 128 | 317,98560 | 92,67179  | 4,246  | 1,445 | 1,300 |
| 129 | 335,19271 | 88,98346  | 5,333  | 1,445 | 1,300 |
| 130 | 343,29372 | 87,99234  | 4,795  | 1,445 | 1,300 |
| 131 | 329,97372 | 85,68218  | 4,042  | 1,445 | 1,300 |
| 132 | 283,61765 | 93,37088  | 3,570  | 1,445 | 1,300 |
| 133 | 310,69434 | 92,27534  | 3,730  | 1,445 | 1,300 |
| 134 | 330,03404 | 90,26827  | 4,257  | 1,445 | 1,300 |
| 135 | 325,69560 | 84,21151  | 3,354  | 1,445 | 1,300 |
| 136 | 338,26282 | 77,67960  | 2,045  | 1,445 | 1,300 |
| 137 | 330,68457 | 82,83825  | 1,864  | 1,445 | 1,300 |
| 138 | 319,76105 | 88,83320  | 3,370  | 1,445 | 1,300 |
| 139 | 345,73353 | 83,62054  | 3,344  | 1,445 | 1,300 |
| 140 | 302,25072 | 89,28274  | 2,678  | 1,445 | 1,300 |
| 141 | 267,23057 | 93,52625  | 3,148  | 1,445 | 1,300 |
| 142 | 269,28955 | 95,29529  | 5,231  | 1,445 | 1,300 |
| 143 | 295,66156 | 94,02237  | 4,924  | 1,445 | 1,300 |
| 144 | 155,64943 | 114,49132 | 10,069 | 1,445 | 0,120 |
| 145 | 161,65214 | 114,37485 | 9,522  | 1,445 | 0,120 |
| 146 | 169,90116 | 114,37054 | 9,081  | 1,445 | 0,120 |
| 147 | 177,29536 | 114,09742 | 9,008  | 1,445 | 0,120 |

| ID  | Hz        | V         | Dg     | hinst | hjal  |
|-----|-----------|-----------|--------|-------|-------|
| 148 | 184,7593  | 112,7529  | 9,475  | 1,445 | 0,120 |
| 149 | 178,6239  | 113,1031  | 9,541  | 1,445 | 0,120 |
| 150 | 174,5637  | 113,5087  | 9,535  | 1,445 | 0,120 |
| 151 | 169,2763  | 113,3402  | 9,993  | 1,445 | 0,120 |
| 152 | 165,6503  | 112,8552  | 10,606 | 1,445 | 0,120 |
| 153 | 159,6931  | 113,1334  | 10,237 | 1,445 | 0,120 |
| 154 | 194,3907  | 111,7306  | 10,068 | 1,445 | 0,120 |
| 155 | 201,6686  | 111,075   | 10,499 | 1,445 | 0,120 |
| 156 | 209,6990  | 110,1952  | 10,772 | 1,445 | 0,120 |
| 157 | 149,8557  | 111,4045  | 8,989  | 1,445 | 1,300 |
| 158 | 143,4670  | 112,6252  | 10,053 | 1,445 | 1,300 |
| 159 | 139,9783  | 115,0325  | 10,309 | 1,445 | 1,300 |
| 160 | 136,9449  | 114,0530  | 11,572 | 1,445 | 1,300 |
| 161 | 136,5330  | 113,5406  | 12,612 | 1,445 | 1,300 |
| 162 | 131,3372  | 115,1716  | 11,441 | 1,445 | 1,300 |
| 163 | 317,28805 | 94,53441  | 5,246  | 1,445 | 1,300 |
| 164 | 18,92562  | 78,89560  | 6,742  | 1,445 | 1,300 |
| 165 | 398,12662 | 69,57566  | 4,971  | 1,445 | 1,300 |
| 166 | 377,91488 | 66,46108  | 5,016  | 1,445 | 1,300 |
| 167 | 367,60205 | 70,63464  | 5,826  | 1,445 | 1,300 |
| 168 | 343,86956 | 70,83725  | 6,225  | 1,445 | 1,300 |
| 169 | 329,05763 | 76,41193  | 8,483  | 1,445 | 1,300 |
| 170 | 338,69007 | 76,55279  | 9,253  | 1,445 | 1,300 |
| 171 | 352,96357 | 71,35811  | 6,680  | 1,445 | 1,300 |
| 172 | 370,72060 | 71,94856  | 6,420  | 1,445 | 1,300 |
| 173 | 186,31820 | 113,60937 | 8,841  | 1,445 | 0,120 |
| 174 | 178,99974 | 115,03398 | 8,486  | 1,445 | 0,120 |
| 175 | 170,96212 | 115,24125 | 8,362  | 1,445 | 0,120 |
| 176 | 161,79939 | 115,66487 | 8,546  | 1,445 | 0,120 |
| 177 | 152,34060 | 116,99513 | 9,087  | 1,445 | 0,120 |
| 178 | 147,80033 | 116,10766 | 9,996  | 1,445 | 0,120 |
| 179 | 144,23141 | 115,81016 | 10,925 | 1,445 | 0,120 |
| 180 | 148,45046 | 114,46759 | 10,490 | 1,445 | 0,120 |
| 181 | 124,2004  | 117,4957  | 11,157 | 1,445 | 1,300 |
| 182 | 118,7559  | 120,4622  | 11,618 | 1,445 | 1,300 |

| ID  | Hz       | V        | Dg     | hinst | hjal  |
|-----|----------|----------|--------|-------|-------|
| 183 | 115,1453 | 119,2849 | 12,799 | 1,445 | 1,300 |
| 184 | 112,4709 | 120,7506 | 12,593 | 1,445 | 1,300 |
| 185 | 101,7474 | 122,0531 | 14,698 | 1,445 | 1,300 |
| 186 | 103,5552 | 124,2317 | 9,921  | 1,445 | 1,300 |
| 187 | 98,6094  | 123,3207 | 10,271 | 1,445 | 1,300 |
| 188 | 92,5378  | 121,6726 | 11,215 | 1,445 | 1,300 |
| 189 | 92,973   | 122,2270 | 11,749 | 1,445 | 1,300 |
| 190 | 87,4298  | 121,3914 | 10,407 | 1,445 | 1,300 |
| 191 | 90,9756  | 122,1168 | 10,070 | 1,445 | 1,300 |
| 192 | 93,1980  | 123,2522 | 9,558  | 1,445 | 1,300 |
| 193 | 104,2269 | 125,6847 | 8,556  | 1,445 | 1,300 |
| 194 | 84,8450  | 119,4342 | 9,402  | 1,445 | 1,300 |
| 195 | 77,3707  | 116,0233 | 11,956 | 1,445 | 1,300 |
| 196 | 78,3983  | 114,3182 | 13,922 | 1,445 | 1,300 |
| 197 | 71,8335  | 110,1396 | 14,922 | 1,445 | 1,300 |
| 198 | 75,9144  | 112,0537 | 9,392  | 1,445 | 1,300 |
| 199 | 84,2698  | 114,4096 | 7,393  | 1,445 | 1,300 |
| 200 | 91,0693  | 115,4130 | 6,388  | 1,445 | 1,300 |
| 201 | 106,3252 | 118,7863 | 5,204  | 1,445 | 1,300 |

Medidas de las cazoletas Grupo 1 (Sin constante de prisma 17,5 cm).

| ID  | Hz       | V        | Dg    | hinst | hjal  |
|-----|----------|----------|-------|-------|-------|
| 202 | 48,60425 | 96,76800 | 8,092 | 1,445 | 0,120 |
| 203 | 47,67680 | 96,65154 | 8,152 | 1,445 | 0,120 |
| 204 | 46,82142 | 96,65467 | 8,225 | 1,445 | 0,120 |
| 205 | 45,90282 | 96,56836 | 8,296 | 1,445 | 0,120 |
| 206 | 49,51054 | 96,96425 | 8,219 | 1,445 | 0,120 |
| 207 | 48,69752 | 96,85737 | 8,262 | 1,445 | 0,120 |
| 208 | 47,88900 | 96,82103 | 8,333 | 1,445 | 0,120 |
| 209 | 46,82157 | 96,74375 | 8,416 | 1,445 | 0,120 |
| 210 | 48,03667 | 97,17969 | 8,484 | 1,445 | 0,120 |

Medidas de las cazoletas Grupo 2 (Sin constante de prisma 17,5 cm).

| ID          | Hz        | V         | Dg     | hinst | hjal  |
|-------------|-----------|-----------|--------|-------|-------|
| 211         | 178,74436 | 114,19747 | 8,963  | 1,445 | 0,120 |
| 212         | 177,91079 | 114,23668 | 8,939  | 1,445 | 0,120 |
| 213         | 177,75152 | 114,34768 | 8,813  | 1,445 | 0,120 |
| ID          | Hz        | V         | Dg     | hinst | hjal  |
| 214         | 177,67782 | 114,37870 | 8,721  | 1,445 | 0,120 |
| 215         | 177,66162 | 114,55453 | 8,633  | 1,445 | 0,120 |
| 216         | 176,75011 | 114,38755 | 8,904  | 1,445 | 0,120 |
| 217         | 176,69209 | 114,42532 | 8,814  | 1,445 | 0,120 |
| 218         | 176,62029 | 114,47257 | 8,713  | 1,445 | 0,120 |
| 219         | 176,59944 | 114,68921 | 8,618  | 1,445 | 0,120 |
| 220         | 175,60507 | 114,82233 | 8,608  | 1,445 | 0,120 |
| Referencia1 | 298,2648  | 109,1070  | 77,791 | 1,445 | 1,843 |
| Referencia1 | 98,2671   | 290,8886  | 77,791 | 1,445 | 1,843 |

Medidas Referencia 2 con Minisprisma (Sin constante de prisma 17,5 cm)

| ID          | Hz       | V        | Dg     | hinst | hjal  |
|-------------|----------|----------|--------|-------|-------|
| Referencia2 | 94,2448  | 102,4858 | 97,677 | 1,445 | 0,120 |
| Referencia2 | 294,2473 | 297,5112 | 97,673 | 1,445 | 0,120 |

Orientación Referencia 2 para Punto Destacado

| ID          | Hz        | V         | Dg     | hinst | hjal  |
|-------------|-----------|-----------|--------|-------|-------|
| Referencia2 | 94,25457  | 102,48522 | 97,696 | 1,445 | 0,120 |
| Referencia2 | 294,25337 | 297,51117 | 97,695 | 1,445 | 0,120 |

Orientación Punto Destacado, PD1 (Referencia a PD), PD2 ( PD a Referencia)

| ID  | Hz       | V        | Dg     | hinst | hjal  |
|-----|----------|----------|--------|-------|-------|
| PD1 | 41,72732 | 95,25579 | 7,8746 | 1,500 | 1,444 |

| ID  | Hz        | V         | Dg     | hinst | hjal  |
|-----|-----------|-----------|--------|-------|-------|
| PD1 | 241,72817 | 304,74577 | 7,8746 | 1,500 | 1,444 |
| PD2 | 192,4453  | 115,5685  | 8,094  | 1,500 | 1,444 |
| PD2 | 392,4429  | 284,4323  | 8,094  | 1,500 | 1,444 |

### Medidas de las cazoletas Grupo 3

| ID  | Hz       | V        | Dg    | hinst | hjal  |
|-----|----------|----------|-------|-------|-------|
| 221 | 318,8676 | 106,3902 | 5,105 | 1,500 | 0,120 |
| 222 | 318,6161 | 106,5451 | 5,010 | 1,500 | 0,120 |
| 223 | 318,3035 | 106,7617 | 4,909 | 1,500 | 0,120 |
| 224 | 317,4614 | 106,9385 | 4,830 | 1,500 | 0,120 |
| 225 | 314,0494 | 106,5306 | 4,907 | 1,500 | 0,120 |
| 226 | 314,6042 | 106,3956 | 5,000 | 1,500 | 0,120 |
| 227 | 315,3680 | 106,2648 | 5,110 | 1,500 | 0,120 |
| 228 | 315,9827 | 106,1330 | 5,174 | 1,500 | 0,120 |
| 229 | 315,6292 | 106,8732 | 4,852 | 1,500 | 0,120 |
| 230 | 317,1208 | 106,5709 | 5,006 | 1,500 | 0,120 |

Coordenadas finales del levantamiento en coordenadas UTM, huso 30 y altura elipsoidal.

| ID | UTM X      | UTM Y       | Altura   | DESCRIPTOR |
|----|------------|-------------|----------|------------|
| 1  | 605163.343 | 4523394.256 | 1439.646 | CONTORNO   |
| 2  | 605163.346 | 4523392.901 | 1440.583 | CONTORNO   |
| 3  | 605163.715 | 4523391.582 | 1440.994 | CONTORNO   |
| 4  | 605163.616 | 4523390.618 | 1441.386 | CONTORNO   |
| 5  | 605163.175 | 4523390.196 | 1441.720 | CONTORNO   |
| 6  | 605164.347 | 4523388.959 | 1441.883 | CONTORNO   |
| 7  | 605164.784 | 4523387.941 | 1442.186 | CONTORNO   |
| 8  | 605164.316 | 4523387.123 | 1442.381 | CONTORNO   |
| 9  | 605164.680 | 4523386.411 | 1442.312 | CONTORNO   |
| 10 | 605164.672 | 4523384.856 | 1441.985 | CONTORNO   |



| ID | UTM X      | UTM Y       | Altura   | DESCRIPTOR |
|----|------------|-------------|----------|------------|
| 11 | 605164.643 | 4523383.613 | 1441.674 | CONTORNO   |
| 12 | 605169.280 | 4523398.138 | 1440.088 | CONTORNO   |
| 13 | 605169.789 | 4523396.877 | 1440.522 | CONTORNO   |
| 14 | 605170.685 | 4523396.261 | 1441.020 | CONTORNO   |
| 15 | 605171.575 | 4523396.460 | 1441.448 | CONTORNO   |
| 16 | 605172.769 | 4523393.756 | 1442.762 | CONTORNO   |
| 17 | 605172.483 | 4523392.397 | 1441.884 | CONTORNO   |
| 18 | 605173.752 | 4523391.612 | 1442.542 | CONTORNO   |
| 19 | 605174.480 | 4523390.324 | 1442.594 | CONTORNO   |
| 20 | 605175.680 | 4523389.516 | 1442.860 | CONTORNO   |
| 21 | 605176.123 | 4523388.865 | 1442.927 | CONTORNO   |
| 22 | 605177.424 | 4523388.217 | 1442.970 | CONTORNO   |
| 23 | 605177.150 | 4523386.618 | 1442.754 | CONTORNO   |
| 24 | 605177.977 | 4523385.556 | 1442.749 | CONTORNO   |
| 25 | 605178.258 | 4523385.579 | 1443.025 | CONTORNO   |
| 26 | 605179.462 | 4523385.030 | 1443.019 | CONTORNO   |
| 27 | 605179.701 | 4523385.005 | 1443.197 | CONTORNO   |
| 28 | 605180.544 | 4523384.482 | 1443.126 | CONTORNO   |
| 29 | 605181.162 | 4523384.560 | 1443.801 | CONTORNO   |
| 30 | 605180.797 | 4523384.087 | 1443.716 | CONTORNO   |
| 31 | 605180.563 | 4523384.005 | 1443.459 | CONTORNO   |
| 32 | 605180.337 | 4523383.498 | 1443.398 | CONTORNO   |
| 33 | 605180.458 | 4523382.465 | 1443.402 | CONTORNO   |
| 34 | 605180.835 | 4523381.679 | 1443.357 | CONTORNO   |
| 35 | 605181.880 | 4523380.880 | 1443.220 | CONTORNO   |
| 36 | 605182.960 | 4523379.962 | 1443.291 | CONTORNO   |
| 37 | 605184.000 | 4523379.706 | 1443.134 | CONTORNO   |
| 38 | 605184.255 | 4523381.329 | 1443.368 | CONTORNO   |
| 39 | 605183.938 | 4523381.448 | 1443.418 | CONTORNO   |
| 40 | 605184.177 | 4523382.310 | 1443.545 | CONTORNO   |
| 41 | 605183.657 | 4523382.788 | 1443.772 | CONTORNO   |
| 42 | 605182.954 | 4523383.520 | 1443.809 | CONTORNO   |
| 43 | 605182.811 | 4523384.458 | 1444.031 | CONTORNO   |
| 44 | 605181.891 | 4523384.387 | 1443.940 | CONTORNO   |
| 45 | 605182.889 | 4523384.642 | 1444.062 | CONTORNO   |

| ID | UTM X      | UTM Y       | Altura     | DESCRIPTOR |
|----|------------|-------------|------------|------------|
| 46 | 605183.114 | 4523385.855 | 1444.248   | CONTORNO   |
| 47 | 605183.425 | 4523386.647 | 1444.316   | CONTORNO   |
| 48 | 605183.749 | 4523386.686 | 1444.313   | CONTORNO   |
| 49 | 605183.889 | 4523387.365 | 1444.342   | CONTORNO   |
| 50 | 605184.392 | 4523387.573 | 1444.341   | CONTORNO   |
| 51 | 605184.695 | 4523387.847 | 1444.346   | CONTORNO   |
| 52 | 605186.872 | 4523388.353 | 1444.288   | CONTORNO   |
| 53 | 605187.626 | 4523388.357 | 1444.156   | CONTORNO   |
| 54 | 605188.226 | 4523387.645 | 1443.847   | CONTORNO   |
| 55 | 605188.037 | 4523387.500 | 1444.231   | CONTORNO   |
| 56 | 605188.912 | 4523386.01  | 8 1444.042 | CONTORNO   |
| 57 | 605190.580 | 4523383.954 | 1443.564   | CONTORNO   |
| 58 | 605190.226 | 4523383.132 | 1443.378   | CONTORNO   |
| 59 | 605189.330 | 4523383.124 | 1443.365   | CONTORNO   |
| 60 | 605189.156 | 4523383.443 | 1443.363   | CONTORNO   |
| 61 | 605187.309 | 4523382.622 | 1443.348   | CONTORNO   |
| 62 | 605186.309 | 4523381.589 | 1443.391   | CONTORNO   |
| 63 | 605186.353 | 4523380.990 | 1443.297   | CONTORNO   |
| 64 | 605185.140 | 4523379.817 | 1443.333   | CONTORNO   |
| 65 | 605185.131 | 4523379.132 | 1443.219   | CONTORNO   |
| 66 | 605184.171 | 4523379.711 | 1443.417   | CONTORNO   |
| 67 | 605184.322 | 4523381.344 | 1443.665   | CONTORNO   |
| 68 | 605184.109 | 4523381.524 | 1443.656   | CONTORNO   |
| 69 | 605184.382 | 4523382.355 | 1443.747   | CONTORNO   |
| 70 | 605183.731 | 4523382.599 | 1443.828   | CONTORNO   |
| 71 | 605183.494 | 4523382.919 | 1443.872   | CONTORNO   |
| 72 | 605183.332 | 4523383.830 | 1444.080   | CONTORNO   |
| 73 | 605183.381 | 4523384.302 | 1444.174   | CONTORNO   |
| 74 | 605183.158 | 4523384.658 | 1444.228   | CONTORNO   |
| 75 | 605182.845 | 4523384.705 | 1444.165   | CONTORNO   |
| 76 | 605183.347 | 4523380.672 | 1443.437   | RELL1      |
| 77 | 605183.312 | 4523381.334 | 1443.538   | RELL1      |
| 78 | 605183.369 | 4523382.054 | 1443.683   | RELL1      |
| 79 | 605182.745 | 4523382.333 | 1443.647   | RELL1      |
| 80 | 605182.705 | 4523381.937 | 1443.588   | RELL1      |

| <b>ID</b> | <b>UTM X</b> | <b>UTM Y</b> | <b>Altura</b> | <b>DESCRIPTOR</b> |
|-----------|--------------|--------------|---------------|-------------------|
| 81        | 605182.683   | 4523381.481  | 1443.514      | RELL1             |
| 82        | 605182.700   | 4523380.975  | 1443.459      | RELL1             |
| 83        | 605182.174   | 4523381.442  | 1443.509      | RELL1             |
| 84        | 605182.144   | 4523381.995  | 1443.589      | RELL1             |
| 85        | 605182.243   | 4523382.592  | 1443.687      | RELL1             |
| 86        | 605181.864   | 4523382.740  | 1443.673      | RELL1             |
| 87        | 605181.635   | 4523382.370  | 1443.584      | RELL1             |
| 88        | 605181.389   | 4523381.827  | 1443.504      | RELL1             |
| 89        | 605180.920   | 4523382.090  | 1443.437      | RELL1             |
| 90        | 605180.991   | 4523382.607  | 1443.521      | RELL1             |
| 91        | 605181.158   | 4523383.093  | 1443.613      | RELL1             |
| 92        | 605186.460   | 4523379.741  | 1444.397      | RELL2             |
| 93        | 605187.237   | 4523386.929  | 1444.314      | RELL2             |
| 94        | 605187.521   | 4523386.089  | 1444.223      | RELL2             |
| 95        | 605187.876   | 4523385.226  | 1443.973      | RELL2             |
| 96        | 605187.983   | 4523384.388  | 1443.722      | RELL2             |
| 97        | 605187.367   | 4523383.670  | 1443.606      | RELL2             |
| 98        | 605186.806   | 4523384.455  | 1443.976      | RELL2             |
| 99        | 605186.314   | 4523385.588  | 1444.349      | RELL2             |
| 100       | 605186.010   | 4523386.294  | 1444.497      | RELL2             |
| 101       | 605185.669   | 4523386.999  | 1444.579      | RELL2             |
| 102       | 605184.789   | 4523386.738  | 1444.598      | RELL2             |
| 103       | 605184.849   | 4523385.866  | 1444.540      | RELL2             |
| 104       | 605185.087   | 4523385.080  | 1444.364      | RELL2             |
| 105       | 605185.430   | 4523384.373  | 1444.211      | RELL2             |
| 106       | 605185.915   | 4523383.745  | 1443.944      | RELL2             |
| 107       | 605186.390   | 4523383.131  | 1443.652      | RELL2             |
| 108       | 605186.108   | 4523382.461  | 1443.565      | RELL2             |
| 109       | 605185.555   | 4523383.405  | 1443.937      | RELL2             |
| 110       | 605185.163   | 4523384.473  | 1444.238      | RELL2             |
| 111       | 605184.882   | 4523385.433  | 1444.454      | RELL2             |
| 112       | 605184.395   | 4523386.239  | 1444.541      | RELL2             |
| 113       | 605183.873   | 4523385.868  | 1444.492      | RELL2             |
| 114       | 605184.245   | 4523384.929  | 1444.361      | RELL2             |
| 115       | 605184.924   | 4523383.676  | 1444.138      | RELL2             |

| ID  | UTM X      | UTM Y         | Altura   | DESCRIPTOR |
|-----|------------|---------------|----------|------------|
| 116 | 605185.568 | 4523382.666   | 1443.753 | RELL2      |
| 117 | 605185.921 | 4523381.884   | 1443.521 | RELL2      |
| 118 | 605185.088 | 4523381.782   | 1443.679 | RELL2      |
| 119 | 605184.531 | 4523382.779   | 1443.953 | RELL2      |
| 120 | 605183.977 | 4523383.494   | 1444.088 | RELL2      |
| 121 | 605183.460 | 4523384.231   | 1444.158 | RELL2      |
| 122 | 605183.558 | 4523385.135   | 1444.317 | RELL2      |
| 123 | 605164.266 | 4523394.963   | 1439.688 | RELL3      |
| 124 | 605165.270 | 4523395.627   | 1439.742 | RELL3      |
| 125 | 605166.429 | 4523396.380   | 1439.932 | RELL3      |
| 126 | 605167.601 | 4523397.014   | 1440.014 | RELL3      |
| 127 | 605168.605 | 4523397.461   | 1440.122 | RELL3      |
| 128 | 605169.053 | 4523396.547   | 1440.400 | RELL3      |
| 129 | 605168.037 | 4523395.969   | 1440.289 | RELL3      |
| 130 | 605166.772 | 4523395.230   | 1440.177 | RELL3      |
| 131 | 605165.421 | 4523394.329   | 1440.061 | RELL3      |
| 132 | 605164.121 | 4523393.724   | 1440.044 | RELL3      |
| 133 | 605164.094 | 4523392.593   | 1440.667 | RELL3      |
| 134 | 605165.322 | 4523393.074   | 1440.510 | RELL3      |
| 135 | 605166.373 | 4523393.856   | 1440.289 | RELL3      |
| 136 | 605167.53  | 2 4523394.384 | 1440.398 | RELL3      |
| 137 | 605168.863 | 4523394.899   | 1440.623 | RELL3      |
| 138 | 605170.005 | 4523395.622   | 1440.897 | RELL3      |
| 139 | 605171.047 | 4523394.901   | 1441.324 | RELL3      |
| 140 | 605169.855 | 4523394.068   | 1441.078 | RELL3      |
| 141 | 605168.652 | 4523393.186   | 1440.706 | RELL3      |
| 142 | 605167.508 | 4523392.494   | 1440.798 | RELL3      |
| 143 | 605166.245 | 4523391.831   | 1440.874 | RELL3      |
| 144 | 605165.547 | 4523391.296   | 1441.228 | RELL3      |
| 145 | 605164.345 | 4523390.696   | 1441.303 | RELL3      |
| 146 | 605164.981 | 4523389.716   | 1441.655 | RELL3      |
| 147 | 605166.261 | 4523390.388   | 1441.456 | RELL3      |
| 148 | 605167.514 | 4523391.175   | 1441.157 | RELL3      |
| 149 | 605168.613 | 4523392.098   | 1441.086 | RELL3      |
| 150 | 605169.693 | 4523392.752   | 1441.087 | RELL3      |

| <b>ID</b> | <b>UTM X</b> | <b>UTM Y</b> | <b>Altura</b> | <b>DESCRIPTOR</b> |
|-----------|--------------|--------------|---------------|-------------------|
| 151       | 605170.612   | 4523393.444  | 1441.318      | RELL3             |
| 152       | 605171.669   | 4523394.051  | 1441.596      | RELL3             |
| 153       | 605172.498   | 4523394.796  | 1441.849      | RELL3             |
| 154       | 605171.846   | 4523393.547  | 1441.679      | RELL3             |
| 155       | 605171.005   | 4523392.915  | 1441.423      | RELL3             |
| 156       | 605171.763   | 4523392.253  | 1441.644      | RELL3             |
| 157       | 605172.224   | 4523391.299  | 1441.888      | RELL3             |
| 158       | 605170.548   | 4523385.714  | 1441.658      | RELL3             |
| 159       | 605169.193   | 4523384.685  | 1441.634      | RELL3             |
| 160       | 605167.887   | 4523383.940  | 1441.626      | RELL3             |
| 161       | 605166.633   | 4523383.167  | 1441.696      | RELL3             |
| 162       | 605165.670   | 4523382.658  | 1441.546      | RELL3             |
| 163       | 605165.917   | 4523381.705  | 1441.340      | RELL3             |
| 164       | 605167.342   | 4523382.425  | 1441.522      | RELL3             |
| 165       | 605168.512   | 4523383.357  | 1441.545      | RELL3             |
| 166       | 605169.693   | 4523384.373  | 1441.557      | RELL3             |
| 167       | 605170.804   | 4523385.239  | 1441.668      | RELL3             |
| 168       | 605172.006   | 4523384.783  | 1441.649      | RELL3             |
| 169       | 605170.539   | 4523383.894  | 1441.485      | RELL3             |
| 170       | 605169.147   | 4523383.408  | 1441.498      | RELL3             |
| 171       | 605167.460   | 4523382.656  | 1441.576      | RELL3             |
| 172       | 605165.991   | 4523381.716  | 1441.344      | RELL3             |
| 173       | 605166.862   | 4523380.870  | 1441.235      | RELL3             |
| 174       | 605168.213   | 4523381.565  | 1441.341      | RELL3             |
| 175       | 605169.633   | 4523382.315  | 1441.341      | RELL3             |
| 176       | 605171.119   | 4523383.008  | 1441.329      | RELL3             |
| 177       | 605172.431   | 4523383.392  | 1441.333      | RELL3             |
| 178       | 605170.860   | 4523390.515  | 1441.855      | RELL3             |
| 179       | 605169.315   | 4523389.704  | 1441.737      | RELL3             |
| 180       | 605169.515   | 4523392.150  | 1441.140      | RELL3             |
| 181       | 605167.828   | 4523391.229  | 1441.138      | RELL3             |
| 182       | 605166.378   | 4523390.409  | 1441.433      | RELL3             |
| 183       | 605165.195   | 4523389.338  | 1441.794      | RELL3             |
| 184       | 605165.491   | 4523388.001  | 1442.085      | RELL3             |
| 185       | 605167.101   | 4523388.644  | 1441.762      | RELL3             |

| ID  | UTM X      | UTM Y       | Altura   | DESCRIPTOR |
|-----|------------|-------------|----------|------------|
| 186 | 605168.381 | 4523388.639 | 1441.687 | RELL3      |
| 187 | 605166.769 | 4523387.866 | 1441.840 | RELL3      |
| 188 | 605165.278 | 4523387.326 | 1442.185 | RELL3      |
| 189 | 605165.286 | 4523386.009 | 1442.142 | RELL3      |
| 190 | 605166.914 | 4523386.318 | 1441.926 | RELL3      |
| 191 | 605168.487 | 4523386.828 | 1441.722 | RELL3      |
| 192 | 605169.503 | 4523386.348 | 1441.729 | RELL3      |
| 193 | 605168.329 | 4523385.659 | 1441.734 | RELL3      |
| 194 | 605167.051 | 4523385.217 | 1441.875 | RELL3      |
| 195 | 605166.193 | 4523384.625 | 1441.898 | RELL3      |
| 196 | 605166.103 | 4523383.429 | 1441.740 | RELL3      |
| 197 | 605167.445 | 4523384.267 | 1441.729 | RELL3      |
| 198 | 605168.605 | 4523385.195 | 1441.693 | RELL3      |
| 199 | 605169.588 | 4523386.058 | 1441.705 | RELL3      |
| 200 | 605173.095 | 4523383.495 | 1441.689 | RELL3      |
| 201 | 605175.603 | 4523383.055 | 1441.392 | RELL3      |
| 202 | 605174.092 | 4523381.991 | 1441.029 | RELL3      |
| 203 | 605172.391 | 4523380.824 | 1440.890 | RELL3      |
| 204 | 605171.148 | 4523379.882 | 1440.921 | RELL3      |
| 205 | 605169.596 | 4523378.551 | 1440.905 | RELL3      |
| 206 | 605170.810 | 4523378.312 | 1440.628 | RELL3      |
| 207 | 605172.203 | 4523379.162 | 1440.661 | RELL3      |
| 208 | 605173.736 | 4523379.571 | 1440.574 | RELL3      |
| 209 | 605175.503 | 4523380.000 | 1440.378 | RELL3      |
| 210 | 605175.311 | 4523378.899 | 1439.882 | RELL3      |
| 211 | 605174.015 | 4523378.101 | 1439.891 | RELL3      |
| 212 | 605172.336 | 4523377.652 | 1440.040 | RELL3      |
| 213 | 605171.684 | 4523376.816 | 1439.969 | RELL3      |
| 214 | 605172.628 | 4523376.003 | 1439.548 | RELL3      |
| 215 | 605174.038 | 4523376.785 | 1439.452 | RELL3      |
| 216 | 605175.212 | 4523377.831 | 1439.346 | RELL3      |
| 217 | 605176.567 | 4523376.749 | 1438.592 | RELL3      |
| 218 | 605175.992 | 4523375.418 | 1438.542 | RELL3      |
| 219 | 605175.331 | 4523374.292 | 1438.384 | RELL3      |
| 220 | 605176.661 | 4523374.033 | 1438.091 | RELL3      |

| <b>ID</b> | <b>UTM X</b> | <b>UTM Y</b> | <b>Altura</b> | <b>DESCRIPTOR</b> |
|-----------|--------------|--------------|---------------|-------------------|
| 221       | 605177.509   | 4523374.698  | 1438.057      | RELL3             |
| 222       | 605178.573   | 4523374.936  | 1437.868      | RELL3             |
| 223       | 605178.564   | 4523373.949  | 1437.785      | RELL3             |
| 224       | 605171.388   | 4523391.501  | 1441.756      | RELL3             |
| 225       | 605170.529   | 4523391.768  | 1441.706      | RELL3             |
| 226       | 605169.556   | 4523391.322  | 1441.714      | RELL3             |
| 227       | 605168.945   | 4523389.986  | 1441.657      | RELL3             |
| 228       | 605169.431   | 4523391.609  | 1441.266      | RELL3             |
| 229       | 605170.677   | 4523392.012  | 1441.365      | RELL3             |
| 230       | 605173.679   | 4523391.198  | 1442.506      | RELL3             |
| 231       | 605172.043   | 4523390.257  | 1442.388      | RELL3             |
| 232       | 605170.450   | 4523389.237  | 1442.510      | RELL3             |
| 233       | 605169.308   | 4523388.443  | 1442.384      | RELL3             |
| 234       | 605169.252   | 4523387.600  | 1442.310      | RELL3             |
| 235       | 605170.101   | 4523386.737  | 1442.235      | RELL3             |
| 236       | 605170.858   | 4523386.640  | 1442.198      | RELL3             |
| 237       | 605171.161   | 4523386.107  | 1442.275      | RELL3             |
| 238       | 605171.977   | 4523385.479  | 1442.148      | RELL3             |
| 239       | 605173.133   | 4523385.343  | 1442.083      | RELL3             |
| 240       | 605175.704   | 4523385.737  | 1442.466      | RELL3             |
| 241       | 605172.649   | 4523390.784  | 1442.102      | RELL3             |
| 242       | 605171.329   | 4523390.019  | 1441.959      | RELL3             |
| 243       | 605168.979   | 4523388.641  | 1441.711      | RELL3             |
| 244       | 605169.121   | 4523387.298  | 1441.760      | RELL3             |
| 245       | 605170.502   | 4523386.384  | 1441.737      | RELL3             |
| 246       | 605171.000   | 4523385.905  | 1441.710      | RELL3             |
| 247       | 605172.001   | 4523385.249  | 1441.662      | RELL3             |
| 248       | 605172.812   | 4523385.022  | 1441.753      | RELL3             |
| 249       | 605174.800   | 4523390.009  | 1442.512      | RELL3             |
| 250       | 605173.913   | 4523388.721  | 1442.450      | RELL3             |
| 251       | 605175.177   | 4523389.762  | 1442.880      | RELL3             |
| 252       | 605175.699   | 4523389.111  | 1442.861      | RELL3             |
| 253       | 605174.693   | 4523388.485  | 1442.863      | RELL3             |
| 254       | 605172.278   | 4523387.295  | 1442.333      | RELL3             |
| 255       | 605173.573   | 4523388.126  | 1442.413      | RELL3             |

| ID  | UTM X      | UTM Y       | Altura   | DESCRIPTOR |
|-----|------------|-------------|----------|------------|
| 256 | 605174.708 | 4523388.752 | 1442.610 | RELL3      |
| 257 | 605174.446 | 4523387.799 | 1442.785 | RELL3      |
| 258 | 605174.857 | 4523386.441 | 1442.664 | RELL3      |
| 259 | 605174.624 | 4523386.343 | 1442.458 | RELL3      |
| 260 | 605174.136 | 4523387.843 | 1442.550 | RELL3      |
| 261 | 605175.451 | 4523387.648 | 1442.813 | RELL3      |
| 262 | 605173.516 | 4523386.987 | 1442.411 | RELL3      |
| 263 | 605171.993 | 4523386.386 | 1442.281 | RELL3      |
| 264 | 605170.405 | 4523387.744 | 1442.348 | RELL3      |
| 265 | 605172.190 | 4523388.857 | 1442.424 | RELL3      |
| 266 | 605170.305 | 4523375.695 | 1440.870 | RELL3      |
| 267 | 605169.762 | 4523376.586 | 1441.010 | RELL3      |
| 268 | 605169.039 | 4523377.606 | 1441.109 | RELL3      |
| 269 | 605168.316 | 4523378.333 | 1441.163 | RELL3      |
| 270 | 605167.241 | 4523378.794 | 1441.257 | RELL3      |
| 271 | 605167.790 | 4523378.082 | 1441.192 | RELL3      |
| 272 | 605168.228 | 4523377.679 | 1441.134 | RELL3      |
| 273 | 605168.542 | 4523376.822 | 1441.063 | RELL3      |
| 274 | 605168.643 | 4523375.986 | 1441.015 | RELL3      |
| 275 | 605169.649 | 4523375.797 | 1441.045 | RELL3      |
| 276 | 605165.925 | 4523379.655 | 1441.297 | RELL3      |
| 277 | 605165.016 | 4523380.495 | 1441.325 | RELL3      |
| 278 | 605164.299 | 4523381.644 | 1441.424 | RELL3      |
| 279 | 605171.461 | 4523376.252 | 1440.360 | RELL3      |
| 280 | 605172.054 | 4523375.008 | 1439.981 | RELL3      |
| 281 | 605172.547 | 4523374.723 | 1439.550 | RELL3      |
| 282 | 605172.827 | 4523373.386 | 1439.428 | RELL3      |
| 283 | 605172.749 | 4523372.350 | 1439.300 | RELL3      |
| 284 | 605173.826 | 4523373.453 | 1439.261 | RELL3      |
| 285 | 605173.709 | 4523389.711 | 1442.412 | RELL3      |
| 286 | 605180.848 | 4523385.386 | 1444.156 | RELL3      |
| 287 | 605178.487 | 4523386.502 | 1444.248 | RELL3      |
| 288 | 605177.623 | 4523387.585 | 1444.484 | RELL3      |
| 289 | 605177.614 | 4523388.755 | 1444.555 | RELL3      |
| 290 | 605175.964 | 4523389.944 | 1444.715 | RELL3      |



| <b>ID</b> | <b>UTM X</b> | <b>UTM Y</b> | <b>Altura</b> | <b>DESCRIPTOR</b> |
|-----------|--------------|--------------|---------------|-------------------|
| 291       | 605174.745   | 4523392.453  | 1445.034      | RELL3             |
| 292       | 605176.063   | 4523393.043  | 1445.293      | RELL3             |
| 293       | 605176.887   | 4523390.082  | 1444.867      | RELL3             |
| 294       | 605178.188   | 4523389.057  | 1444.700      | RELL3             |
| 295       | 605167.619   | 4523379.362  | 1441.266      | RELL3             |
| 296       | 605168.542   | 4523378.871  | 1441.156      | RELL3             |
| 297       | 605169.385   | 4523378.261  | 1441.159      | RELL3             |
| 298       | 605170.255   | 4523377.447  | 1441.060      | RELL3             |
| 299       | 605171.171   | 4523376.452  | 1440.745      | RELL3             |
| 300       | 605171.467   | 4523375.368  | 1440.640      | RELL3             |
| 301       | 605171.747   | 4523374.330  | 1440.457      | RELL3             |
| 302       | 605171.197   | 4523374.886  | 1440.778      | RELL3             |
| 303       | 605175.053   | 4523373.823  | 1438.934      | RELL3             |
| 304       | 605176.006   | 4523373.625  | 1438.292      | RELL3             |
| 305       | 605176.849   | 4523372.555  | 1438.144      | RELL3             |
| 306       | 605177.285   | 4523372.941  | 1437.930      | RELL3             |
| 307       | 605179.932   | 4523371.823  | 1436.972      | RELL3             |
| 308       | 605177.887   | 4523375.971  | 1438.276      | RELL3             |
| 309       | 605178.707   | 4523375.917  | 1438.283      | RELL3             |
| 310       | 605180.020   | 4523375.515  | 1438.217      | RELL3             |
| 311       | 605180.199   | 4523375.076  | 1437.943      | RELL3             |
| 312       | 605180.289   | 4523376.589  | 1438.530      | RELL3             |
| 313       | 605179.644   | 4523376.581  | 1438.533      | RELL3             |
| 314       | 605179.087   | 4523376.872  | 1438.548      | RELL3             |
| 315       | 605177.320   | 4523377.191  | 1438.603      | RELL3             |
| 316       | 605180.076   | 4523377.503  | 1439.136      | RELL3             |
| 317       | 605182.709   | 4523376.353  | 1438.984      | RELL3             |
| 318       | 605183.960   | 4523374.790  | 1438.857      | RELL3             |
| 319       | 605185.803   | 4523375.065  | 1439.595      | RELL3             |
| 320       | 605181.193   | 4523378.171  | 1440.194      | RELL3             |
| 321       | 605179.037   | 4523378.929  | 1440.303      | RELL3             |
| 322       | 605177.871   | 4523379.325  | 1440.430      | RELL3             |
| 323       | 605176.140   | 4523379.838  | 1440.448      | RELL3             |
| 324       | 605182.179   | 4523381.890  | 1443.553      | CAZO1             |
| 325       | 605182.273   | 4523381.983  | 1443.571      | CAZO1             |

| ID  | UTM X      | UTM Y       | Altura   | DESCRIPTOR |
|-----|------------|-------------|----------|------------|
| 326 | 605182.377 | 4523382.065 | 1443.575 | CAZO1      |
| 327 | 605182.479 | 4523382.158 | 1443.590 | CAZO1      |
| 328 | 605182.261 | 4523381.737 | 1443.535 | CAZO1      |
| 329 | 605182.336 | 4523381.822 | 1443.550 | CAZO1      |
| 330 | 605182.437 | 4523381.899 | 1443.559 | CAZO1      |
| 331 | 605182.559 | 4523382.007 | 1443.573 | CAZO1      |
| 332 | 605182.576 | 4523381.832 | 1443.518 | CAZO1      |
| 333 | 605168.197 | 4523378.496 | 1441.156 | CAZO2      |
| 334 | 605168.295 | 4523378.431 | 1441.156 | CAZO2      |
| 335 | 605168.400 | 4523378.504 | 1441.168 | CAZO2      |
| 336 | 605168.472 | 4523378.561 | 1441.185 | CAZO2      |
| 337 | 605168.545 | 4523378.630 | 1441.184 | CAZO2      |
| 338 | 605168.435 | 4523378.346 | 1441.143 | CAZO2      |
| 339 | 605168.503 | 4523378.404 | 1441.158 | CAZO2      |
| 340 | 605168.579 | 4523378.469 | 1441.174 | CAZO2      |
| 341 | 605168.651 | 4523378.538 | 1441.167 | CAZO2      |
| 342 | 605168.755 | 4523378.457 | 1441.152 | CAZO2      |
| 343 | 605185.221 | 4523386.855 | 1444.590 | CAZO3      |
| 344 | 605185.148 | 4523386.790 | 1444.587 | CAZO3      |
| 345 | 605185.068 | 4523386.722 | 1444.581 | CAZO3      |
| 346 | 605184.969 | 4523386.695 | 1444.576 | CAZO3      |
| 347 | 605184.798 | 4523386.906 | 1444.599 | CAZO3      |
| 348 | 605184.885 | 4523386.962 | 1444.600 | CAZO3      |
| 349 | 605184.996 | 4523387.021 | 1444.599 | CAZO3      |
| 350 | 605185.073 | 4523387.047 | 1444.604 | CAZO3      |
| 351 | 605184.868 | 4523386.792 | 1444.579 | CAZO3      |
| 352 | 605185.050 | 4523386.855 | 1444.586 | CAZO3      |
| 353 | 605174.529 | 4523384.549 | 1441.817 | REF2       |
| 354 | 605182.182 | 4523382.786 | 1443.722 | PD         |

### **A3. Resultado del análisis estadístico de los datos de las necrópolis**

Su licencia temporal de SPSS for Windows caducará dentro de 18342 días.

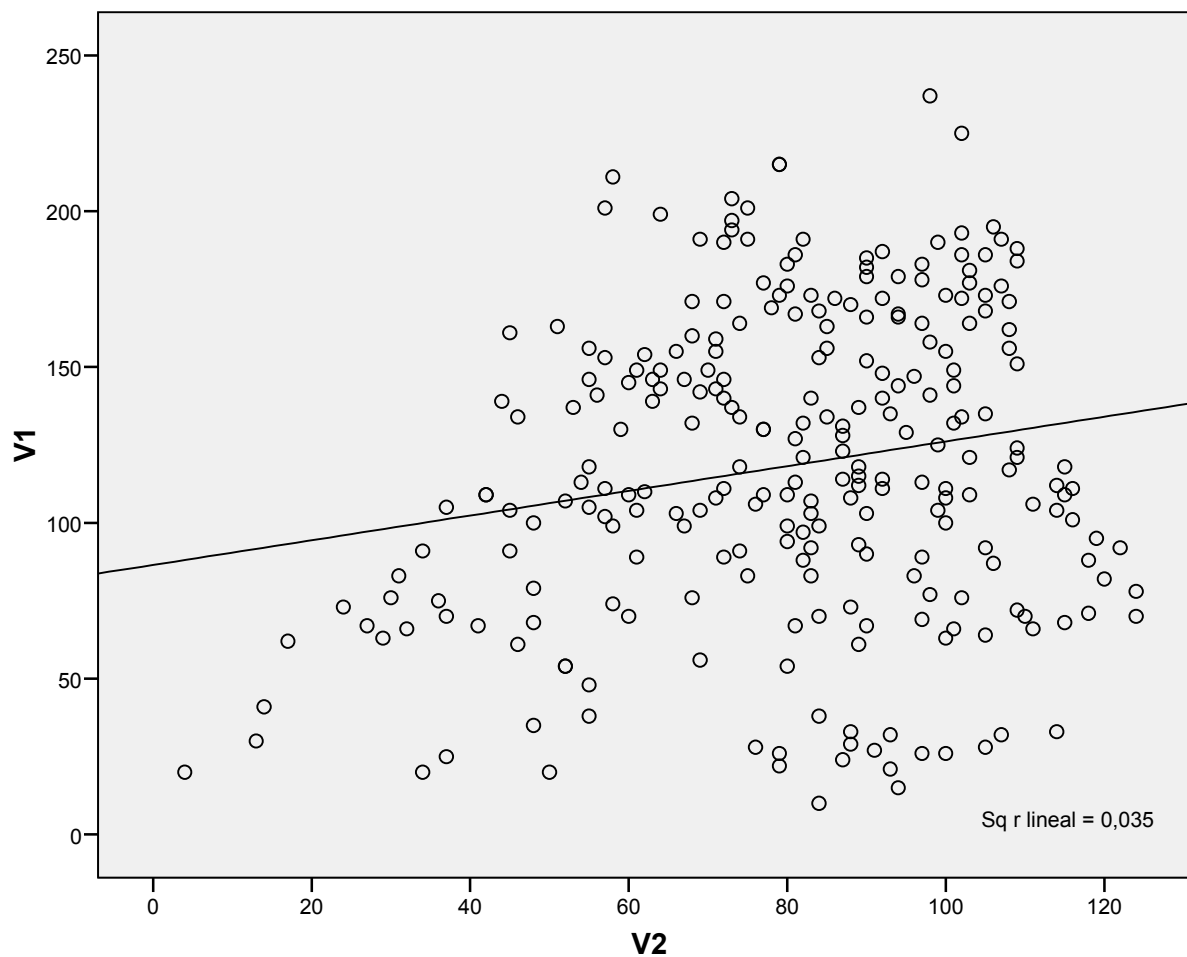
```
GET DATA  /TYPE = TXT
/FILE = 'G:\Necropolis\Agullana.txt'
/DELCASE = LINE
/DELIMITERS = ", "
/ARRANGEMENT = DELIMITED
/FIRSTCASE = 1
/IMPORTCASE = ALL
/VARIABLES =
V1 F3.0
V2 F3.0
.
CACHE.
EXECUTE.
DATASET NAME Conjunto_de_datos1 WINDOW=FRONT.
SAVE OUTFILE='G:\Necropolis\agullana.sav'
/COMPRESSED.
GRAPH
/SCATTERPLOT(BIVAR)=V2 WITH V1
/MISSING=LISTWISE .
```

## Gráfico

### Notas

|                    |                                      |   |
|--------------------|--------------------------------------|---|
| Resultados creados |                                      | 11-JAN-2013 16:18:17  |
| Comentarios        |                                      |   |
| Entrada            | Datos                                | G:\Necropolis\agullana.sav  |
|                    | Conjunto de datos activo             | Conjunto_de_datos1  |
|                    | Filtro                               | <ninguna>   |
|                    | Peso                                 | <ninguna>   |
|                    | Segmentar archivo                    | <ninguna>   |
|                    | Núm. de filas del archivo de trabajo | 260   |
| Sintaxis           |                                      | GRAPH<br>/SCATTERPLOT(BIVAR)=V2 WITH<br>V1<br>/MISSING=LISTWISE . |
| Recursos           | Tiempo de procesador                 | 0:00:00,27  |
|                    | Tiempo transcurrido                  | 0:00:00,36  |

[Conjunto\_de\_datos1] G:\Necropolis\agullana.sav



```

REGRESSION
  /MISSING LISTWISE
  /STATISTICS COEFF OUTS CI R ANOVA
  /CRITERIA=PIN(.05) POUT(.10)
  /NOORIGIN
  /DEPENDENT V1
  /METHOD=ENTER V2  .

```

## Regresión

## Notas

|                                     |  |  |
|-------------------------------------|--|--|
| Resultados creados                  | 11-JAN-2013 16:19:45                                       |  |
| Comentarios                         |  |  |
| Entrada                             | Datos  | G:\Necropolis\agullana.sav   |
|                                     | Conjunto de datos activo                                   | Conjunto_de_datos1   |
|                                     | Filtro   | <ninguna>  |
|                                     | Peso   | <ninguna>  |
|                                     | Segmentar archivo  | <ninguna>  |
|                                     | Núm. de filas del archivo de trabajo                       | 260  |
| Tratamiento de los valores perdidos | Definición de valores perdidos                             | Los valores perdidos definidos por el usuario serán tratados como perdidos.  |
|                                     | Casos utilizados   | Los estadísticos se basan en los casos sin valores perdidos para ninguna variable de las utilizadas.   |
| Sintaxis                            |  | REGRESSION<br>/MISSING LISTWISE<br>/STATISTICS COEFF OUTS CI R ANOVA<br>/CRITERIA=PIN(.05) POUT(.10)<br>/NOORIGIN<br>/DEPENDENT V1<br>/METHOD=ENTER V2 . |
| Recursos                            | Tiempo de procesador                                       | 0:00:00,00   |
|                                     | Tiempo transcurrido  | 0:00:00,04   |
|                                     | Memoria necesaria  | 1348 bytes   |
|                                     | Memoria adicional requerida para los diagramas de residuos | 0 bytes  |

[Conjunto\_de\_datos1] G:\Necropolis\agullana.sav

### Variables introducidas/eliminadas<sup>b</sup>

| Modelo | Variables introducidas | Variables eliminadas | Método     |
|--------|------------------------|----------------------|------------|
| 1      | V2 <sup>a</sup>        | .                    | Introducir |

a. Todas las variables solicitadas introducidas

b. Variable dependiente: V1

### Resumen del modelo

| Modelo | R                 | R cuadrado | R cuadrado corregida | Error típ. de la estimación |
|--------|-------------------|------------|----------------------|-----------------------------|
| 1      | ,187 <sup>a</sup> | ,035       | ,031                 | 49,110                      |

a. Variables predictoras: (Constante), V2

### ANOVA<sup>b</sup>

| Modelo |           | Suma de cuadrados | gl  | Media cuadrática | F     | Sig.              |
|--------|-----------|-------------------|-----|------------------|-------|-------------------|
| 1      | Regresión | 22487,473         | 1   | 22487,473        | 9,324 | ,002 <sup>a</sup> |
|        | Residual  | 622250,666        | 258 | 2411,824         |       |                   |
|        | Total     | 644738,138        | 259 |                  |       |                   |

a. Variables predictoras: (Constante), V2

b. Variable dependiente: V1

**Coeficientes<sup>a</sup>**

| Modelo        | Coeficientes no estandarizados |            | Coeficientes estandarizados | t     | Sig. |
|---------------|--------------------------------|------------|-----------------------------|-------|------|
|               | B                              | Error típ. | Beta                        |       |      |
| 1 (Constante) | 86,487                         | 10,859     |                             | 7,964 | ,000 |
| V2            | ,396                           | ,130       | ,187                        | 3,053 | ,002 |

### Coeficientes<sup>a</sup>

| Modelo        | Intervalo de confianza para B al 95% |                 |
|---------------|--------------------------------------|-----------------|
|               | Límite inferior                      | Límite superior |
| 1 (Constante) | 65,103                               | 107,872         |
| V2            | ,141                                 | ,652            |

a. Variable dependiente: V1

```
GET DATA /TYPE = TXT
/FILE = 'G:\Necropolis\Can Missert.txt'
/DELCASE = LINE
/DELIMITERS = ", "
/ARRANGEMENT = DELIMITED
/FIRSTCASE = 1
/IMPORTCASE = ALL
/VARIABLES =
V1 F3.0
V2 F3.0
.
CACHE.
EXECUTE.
DATASET NAME Conjunto_de_datos2 WINDOW=FRONT.
SAVE OUTFILE='G:\Necropolis\can missert.sav'
/COMPRESSED.
GRAPH
/SCATTERPLOT(BIVAR)=V2 WITH V1
/MISSING=LISTWISE .
```

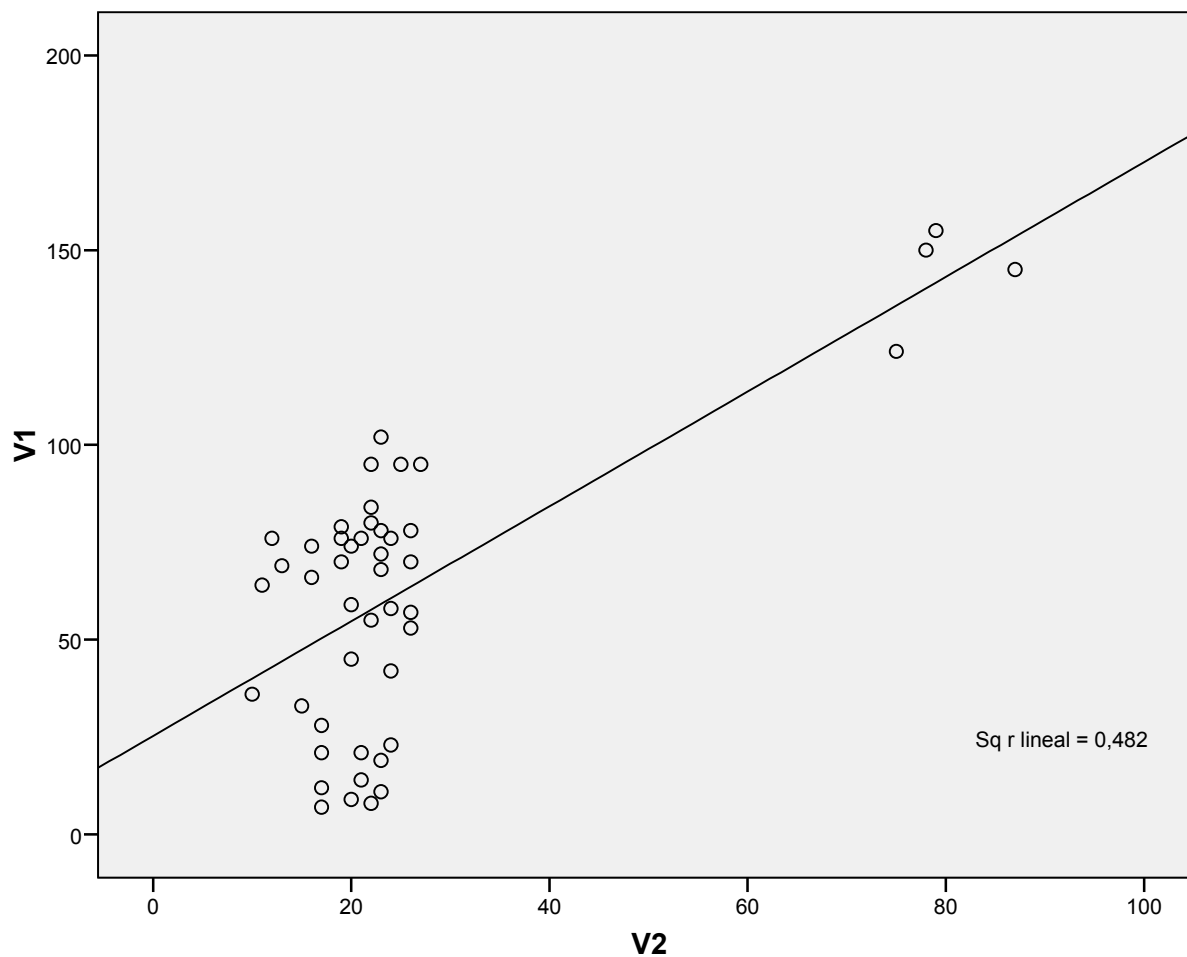
## Gráfico

### Notas

|                    |                                      |  |
|--------------------|--------------------------------------|--|
| Resultados creados |                                      | 11-JAN-2013 16:20:43   |
| Comentarios        |                                      |  |
| Entrada            | Datos                                | G:\Necropolis\can missert.sav                                  |
|                    | Conjunto de datos activo             | Conjunto_de_datos2   |
|                    | Filtro                               | <ninguna>  |
|                    | Peso                                 | <ninguna>  |
|                    | Segmentar archivo                    | <ninguna>  |
|                    | Núm. de filas del archivo de trabajo | 46   |
| Sintaxis           |                                      | GRAPH<br>/SCATTERPLOT(BIVAR)=V2 WITH V1<br>/MISSING=LISTWISE . |
| Recursos           | Tiempo de procesador                 | 0:00:00,20   |
|                    | Tiempo transcurrido                  | 0:00:00,17   |

[Conjunto\_de\_datos2] G:\Necropolis\can missert.sav





```

REGRESSION
  /MISSING LISTWISE
  /STATISTICS COEFF OUTS CI R ANOVA
  /CRITERIA=PIN(.05) POUT(.10)
  /NOORIGIN
  /DEPENDENT V1
  /METHOD=ENTER V2 .

```

## Regresión

## Notas

|                                     |  |  |
|-------------------------------------|--|--|
| Resultados creados                  | 11-JAN-2013 16:21:16                                       |  |
| Comentarios                         |  |  |
| Entrada                             | Datos  | G:\Necropolis\can missert.sav  |
|                                     | Conjunto de datos activo                                   | Conjunto_de_datos2   |
|                                     | Filtro   | <ninguna>  |
|                                     | Peso   | <ninguna>  |
|                                     | Segmentar archivo  | <ninguna>  |
|                                     | Núm. de filas del archivo de trabajo                       | 46   |
| Tratamiento de los valores perdidos | Definición de valores perdidos                             | Los valores perdidos definidos por el usuario serán tratados como perdidos.  |
|                                     | Casos utilizados   | Los estadísticos se basan en los casos sin valores perdidos para ninguna variable de las utilizadas.   |
| Sintaxis                            |  | REGRESSION<br>/MISSING LISTWISE<br>/STATISTICS COEFF OUTS CI R ANOVA<br>/CRITERIA=PIN(.05) POUT(.10)<br>/NOORIGIN<br>/DEPENDENT V1<br>/METHOD=ENTER V2 . |
| Recursos                            | Tiempo de procesador                                       | 0:00:00,02   |
|                                     | Tiempo transcurrido  | 0:00:00,01   |
|                                     | Memoria necesaria  | 1348 bytes   |
|                                     | Memoria adicional requerida para los diagramas de residuos | 0 bytes  |

[Conjunto\_de\_datos2] G:\Necropolis\can missert.sav

### Variables introducidas/eliminadas<sup>b</sup>

| Modelo | Variables introducidas | Variables eliminadas | Método     |
|--------|------------------------|----------------------|------------|
| 1      | V2 <sup>a</sup>        | .                    | Introducir |

a. Todas las variables solicitadas introducidas

b. Variable dependiente: V1

### Resumen del modelo

| Modelo | R                 | R cuadrado | R cuadrado corregida | Error típ. de la estimación |
|--------|-------------------|------------|----------------------|-----------------------------|
| 1      | ,694 <sup>a</sup> | ,482       | ,470                 | 26,884                      |

a. Variables predictoras: (Constante), V2

### ANOVA<sup>b</sup>

| Modelo |           | Suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F      | Sig.              |
|--------|-----------|-------------------|----|------------------|--------|-------------------|
| 1      | Regresión | 29579,857         | 1  | 29579,857        | 40,926 | ,000 <sup>a</sup> |
|        | Residual  | 31801,796         | 44 | 722,768          |        |                   |
|        | Total     | 61381,652         | 45 |                  |        |                   |

a. Variables predictoras: (Constante), V2

b. Variable dependiente: V1

**Coeficientes<sup>a</sup>**

| Modelo        | Coeficientes no estandarizados |            | Coeficientes estandarizados | t     | Sig. |
|---------------|--------------------------------|------------|-----------------------------|-------|------|
|               | B                              | Error típ. | Beta                        |       |      |
| 1 (Constante) | 25,309                         | 7,112      |                             | 3,558 | ,001 |
| V2            | 1,473                          | ,230       | ,694                        | 6,397 | ,000 |

### Coeficientes<sup>a</sup>

| Modelo        | Intervalo de confianza para B al 95% |                 |
|---------------|--------------------------------------|-----------------|
|               | Límite inferior                      | Límite superior |
| 1 (Constante) | 10,975                               | 39,643          |
| V2            | 1,009                                | 1,937           |

a. Variable dependiente: V1

```

DATASET ACTIVATE Conjunto_de_datos2.
DATASET CLOSE Conjunto_de_datos1.
GET DATA /TYPE = TXT
  /FILE = 'G:\Necropolis\CPR.txt'
  /DELCASE = LINE
  /DELIMITERS = ", "
  /ARRANGEMENT = DELIMITED
  /FIRSTCASE = 1
  /IMPORTCASE = ALL
  /VARIABLES =
    V1 F3.0
    V2 F3.0
.
CACHE.
EXECUTE.
DATASET NAME Conjunto_de_datos3 WINDOW=FRONT.
SAVE OUTFILE='G:\Necropolis\CPR.sav'
  /COMPRESSED.
GRAPH
  /SCATTERPLOT(BIVAR)=V2 WITH V1
  /MISSING=LISTWISE .

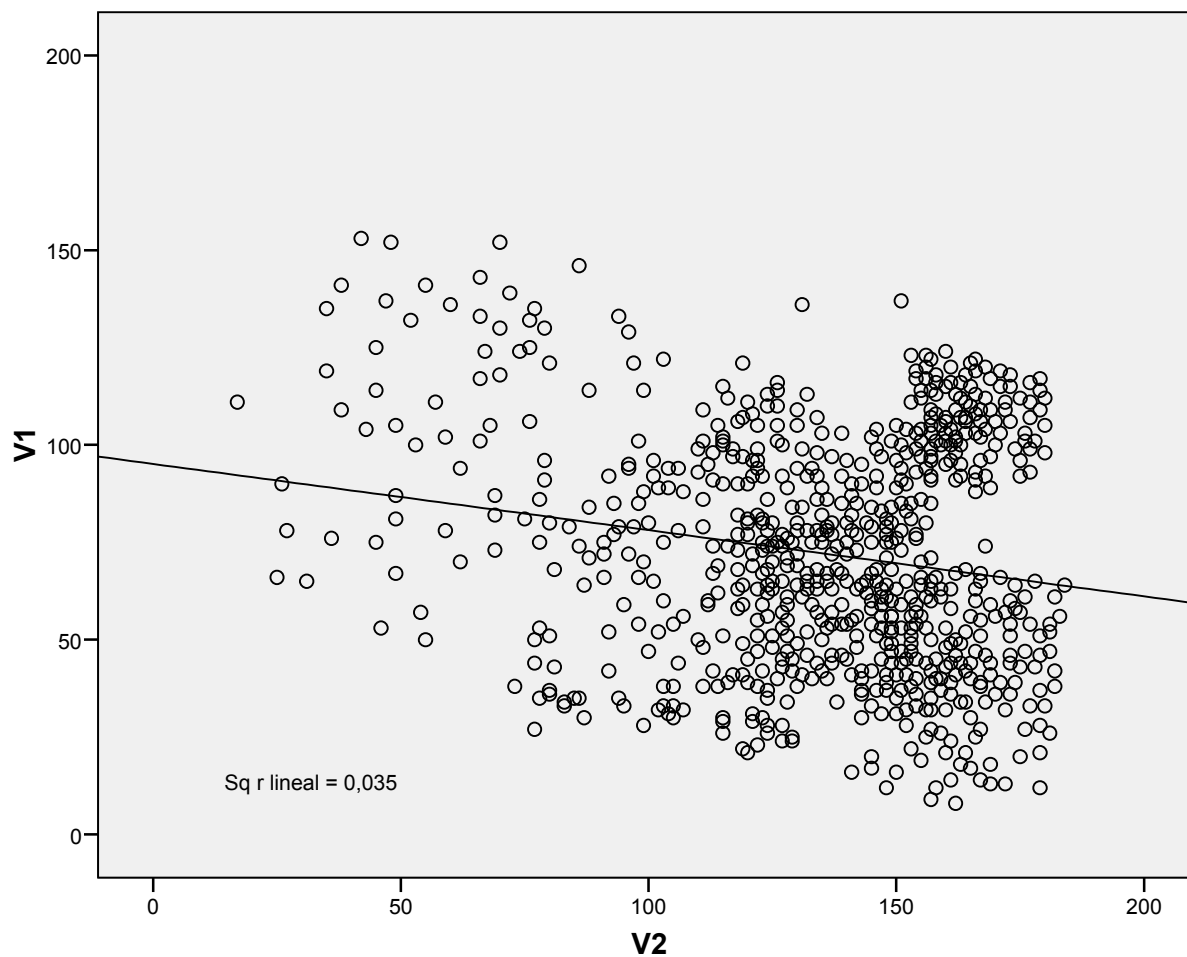
```

## Gráfico

### Notas

|                    |                                      |  |
|--------------------|--------------------------------------|--|
| Resultados creados |                                      | 11-JAN-2013 16:22:04   |
| Comentarios        |                                      |  |
| Entrada            | Datos                                | G:\Necropolis\CPR.sav  |
|                    | Conjunto de datos activo             | Conjunto_de_datos3   |
|                    | Filtro                               | <ninguna>  |
|                    | Peso                                 | <ninguna>  |
|                    | Segmentar archivo                    | <ninguna>  |
|                    | Núm. de filas del archivo de trabajo | 723  |
| Sintaxis           |                                      | GRAPH<br>/SCATTERPLOT(BIVAR)=V2 WITH V1<br>/MISSING=LISTWISE . |
| Recursos           | Tiempo de procesador                 | 0:00:00,20   |
|                    | Tiempo transcurrido                  | 0:00:00,18   |

[Conjunto\_de\_datos3] G:\Necropolis\CPR.sav



```

REGRESSION
  /MISSING LISTWISE
  /STATISTICS COEFF OUTS CI R ANOVA
  /CRITERIA=PIN(.05) POUT(.10)
  /NOORIGIN
  /DEPENDENT V1
  /METHOD=ENTER V2 .

```

## Regresión

## Notas

|                                     |  |  |
|-------------------------------------|--|--|
| Resultados creados                  | 11-JAN-2013 16:22:45                                       |  |
| Comentarios                         |  |  |
| Entrada                             | Datos  | G:\Necropolis\CPR.sav  |
|                                     | Conjunto de datos activo                                   | Conjunto_de_datos3   |
|                                     | Filtro   | <ninguna>  |
|                                     | Peso   | <ninguna>  |
|                                     | Segmentar archivo  | <ninguna>  |
|                                     | Núm. de filas del archivo de trabajo                       | 723  |
| Tratamiento de los valores perdidos | Definición de valores perdidos                             | Los valores perdidos definidos por el usuario serán tratados como perdidos.  |
|                                     | Casos utilizados   | Los estadísticos se basan en los casos sin valores perdidos para ninguna variable de las utilizadas.   |
| Sintaxis                            |  | REGRESSION<br>/MISSING LISTWISE<br>/STATISTICS COEFF OUTS CI R ANOVA<br>/CRITERIA=PIN(.05) POUT(.10)<br>/NOORIGIN<br>/DEPENDENT V1<br>/METHOD=ENTER V2 . |
| Recursos                            | Tiempo de procesador                                       | 0:00:00,03   |
|                                     | Tiempo transcurrido  | 0:00:00,01   |
|                                     | Memoria necesaria  | 1348 bytes   |
|                                     | Memoria adicional requerida para los diagramas de residuos | 0 bytes  |

[Conjunto\_de\_datos3] G:\Necropolis\CPR.sav

### Variables introducidas/eliminadas<sup>b</sup>

| Modelo | Variables introducidas | Variables eliminadas | Método     |
|--------|------------------------|----------------------|------------|
| 1      | V2 <sup>a</sup>        | .                    | Introducir |

a. Todas las variables solicitadas introducidas

b. Variable dependiente: V1

### Resumen del modelo

| Modelo | R                 | R cuadrado | R cuadrado corregida | Error típ. de la estimación |
|--------|-------------------|------------|----------------------|-----------------------------|
| 1      | ,186 <sup>a</sup> | ,035       | ,033                 | 29,830                      |

a. Variables predictoras: (Constante), V2

### ANOVA<sup>b</sup>

| Modelo |           | Suma de cuadrados | gl  | Media cuadrática | F      | Sig.              |
|--------|-----------|-------------------|-----|------------------|--------|-------------------|
| 1      | Regresión | 23056,823         | 1   | 23056,823        | 25,912 | ,000 <sup>a</sup> |
|        | Residual  | 641554,505        | 721 | 889,812          |        |                   |
|        | Total     | 664611,328        | 722 |                  |        |                   |

a. Variables predictoras: (Constante), V2

b. Variable dependiente: V1

**Coeficientes<sup>a</sup>**

| Modelo        | Coeficientes no estandarizados |            | Coeficientes estandarizados | t      | Sig. |
|---------------|--------------------------------|------------|-----------------------------|--------|------|
|               | B                              | Error típ. | Beta                        |        |      |
| 1 (Constante) | 95,122                         | 4,612      |                             | 20,626 | ,000 |
| V2            | -,170                          | ,033       | -,186                       | -5,090 | ,000 |

### Coeficientes<sup>a</sup>

| Modelo        | Intervalo de confianza para B al 95% |                 |
|---------------|--------------------------------------|-----------------|
|               | Límite inferior                      | Límite superior |
| 1 (Constante) | 86,068                               | 104,176         |
| V2            | -,235                                | -,104           |

a. Variable dependiente: V1

```

DATASET ACTIVATE Conjunto_de_datos3.
DATASET CLOSE Conjunto_de_datos2.
GET DATA /TYPE = TXT
  /FILE = 'G:\Necropolis\La Colomina.txt'
  /DELCASE = LINE
  /DELIMITERS = ", "
  /ARRANGEMENT = DELIMITED
  /FIRSTCASE = 1
  /IMPORTCASE = ALL
  /VARIABLES =
V1 F3.0
V2 F3.0
.
CACHE.
EXECUTE.
DATASET NAME Conjunto_de_datos4 WINDOW=FRONT.
DATASET ACTIVATE Conjunto_de_datos4.
DATASET CLOSE Conjunto_de_datos3.
SAVE OUTFILE='G:\Necropolis\La Colomina.sav'
  /COMPRESSED.
GRAPH
  /SCATTERPLOT(BIVAR)=V2 WITH V1
  /MISSING=LISTWISE .

```

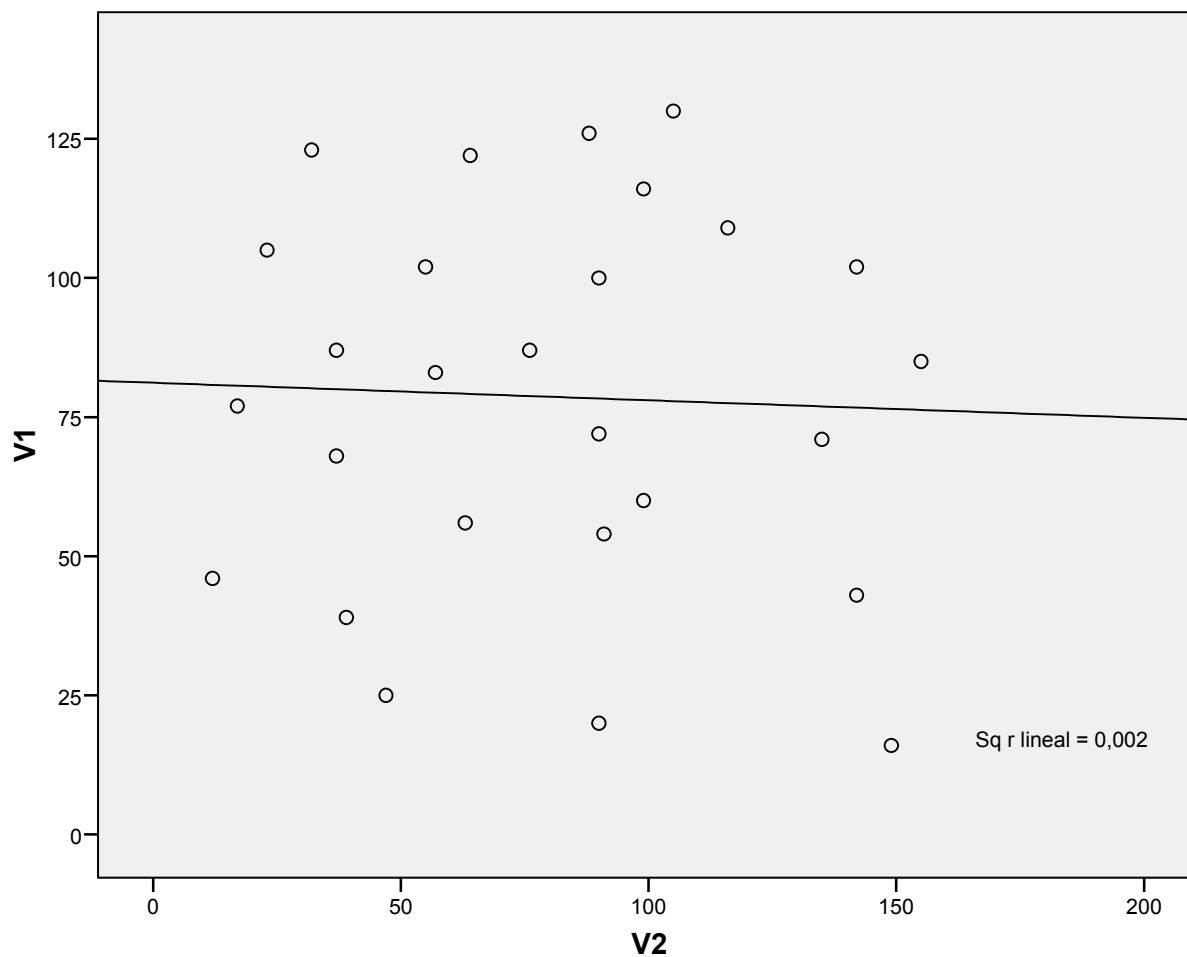
## Gráfico

### Notas

|                    |                                      |  |
|--------------------|--------------------------------------|--|
| Resultados creados |                                      | 11-JAN-2013 16:23:37   |
| Comentarios        |                                      |  |
| Entrada            | Datos                                | G:\Necropolis\La Colomina.sav                                  |
|                    | Conjunto de datos activo             | Conjunto_de_datos4   |
|                    | Filtro                               | <ninguna>  |
|                    | Peso                                 | <ninguna>  |
|                    | Segmentar archivo                    | <ninguna>  |
| Sintaxis           | Núm. de filas del archivo de trabajo | 27   |
|                    |                                      | GRAPH<br>/SCATTERPLOT(BIVAR)=V2 WITH V1<br>/MISSING=LISTWISE . |
| Recursos           | Tiempo de procesador                 | 0:00:00,17   |
|                    | Tiempo transcurrido                  | 0:00:00,17   |

[Conjunto\_de\_datos4] G:\Necropolis\La Colomina.sav





```

REGRESSION
  /MISSING LISTWISE
  /STATISTICS COEFF OUTS CI R ANOVA
  /CRITERIA=PIN(.05) POUT(.10)
  /NOORIGIN
  /DEPENDENT V1
  /METHOD=ENTER V2 .

```

## Regresión

## Notas

|                                     |  |  |
|-------------------------------------|--|--|
| Resultados creados                  | 11-JAN-2013 16:24:09                                       |  |
| Comentarios                         |  |  |
| Entrada                             | Datos  | G:\Necropolis\La Colomina.sav  |
|                                     | Conjunto de datos activo                                   | Conjunto_de_datos4   |
|                                     | Filtro   | <ninguna>  |
|                                     | Peso   | <ninguna>  |
|                                     | Segmentar archivo  | <ninguna>  |
|                                     | Núm. de filas del archivo de trabajo                       | 27   |
| Tratamiento de los valores perdidos | Definición de valores perdidos                             | Los valores perdidos definidos por el usuario serán tratados como perdidos.  |
|                                     | Casos utilizados   | Los estadísticos se basan en los casos sin valores perdidos para ninguna variable de las utilizadas.   |
| Sintaxis                            |  | REGRESSION<br>/MISSING LISTWISE<br>/STATISTICS COEFF OUTS CI R ANOVA<br>/CRITERIA=PIN(.05) POUT(.10)<br>/NOORIGIN<br>/DEPENDENT V1<br>/METHOD=ENTER V2 . |
| Recursos                            | Tiempo de procesador                                       | 0:00:00,02   |
|                                     | Tiempo transcurrido  | 0:00:00,01   |
|                                     | Memoria necesaria  | 1348 bytes   |
|                                     | Memoria adicional requerida para los diagramas de residuos | 0 bytes  |

[Conjunto\_de\_datos4] G:\Necropolis\La Colomina.sav

### Variables introducidas/eliminadas<sup>b</sup>

| Modelo | Variables introducidas | Variables eliminadas | Método     |
|--------|------------------------|----------------------|------------|
| 1      | V2 <sup>a</sup>        | .                    | Introducir |

a. Todas las variables solicitadas introducidas

b. Variable dependiente: V1

### Resumen del modelo

| Modelo | R                 | R cuadrado | R cuadrado corregida | Error típ. de la estimación |
|--------|-------------------|------------|----------------------|-----------------------------|
| 1      | ,040 <sup>a</sup> | ,002       | -,038                | 34,219                      |

a. Variables predictoras: (Constante), V2

### ANOVA<sup>b</sup>

| Modelo |           | Suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F    | Sig.              |
|--------|-----------|-------------------|----|------------------|------|-------------------|
| 1      | Regresión | 46,251            | 1  | 46,251           | ,039 | ,844 <sup>a</sup> |
|        | Residual  | 29273,749         | 25 | 1170,950         |      |                   |
|        | Total     | 29320,000         | 26 |                  |      |                   |

a. Variables predictoras: (Constante), V2

b. Variable dependiente: V1

**Coeficientes<sup>a</sup>**

| Modelo        | Coeficientes no estandarizados |            | Coeficientes estandarizados | t     | Sig. |
|---------------|--------------------------------|------------|-----------------------------|-------|------|
|               | B                              | Error típ. | Beta                        |       |      |
| 1 (Constante) | 81,177                         | 14,243     |                             | 5,699 | ,000 |
| V2            | -,032                          | ,159       | -,040                       | -,199 | ,844 |

### Coeficientes<sup>a</sup>

| Modelo        | Intervalo de confianza para B al 95% |                 |
|---------------|--------------------------------------|-----------------|
|               | Límite inferior                      | Límite superior |
| 1 (Constante) | 51,843                               | 110,511         |
| V2            | -,358                                | ,295            |

a. Variable dependiente: V1

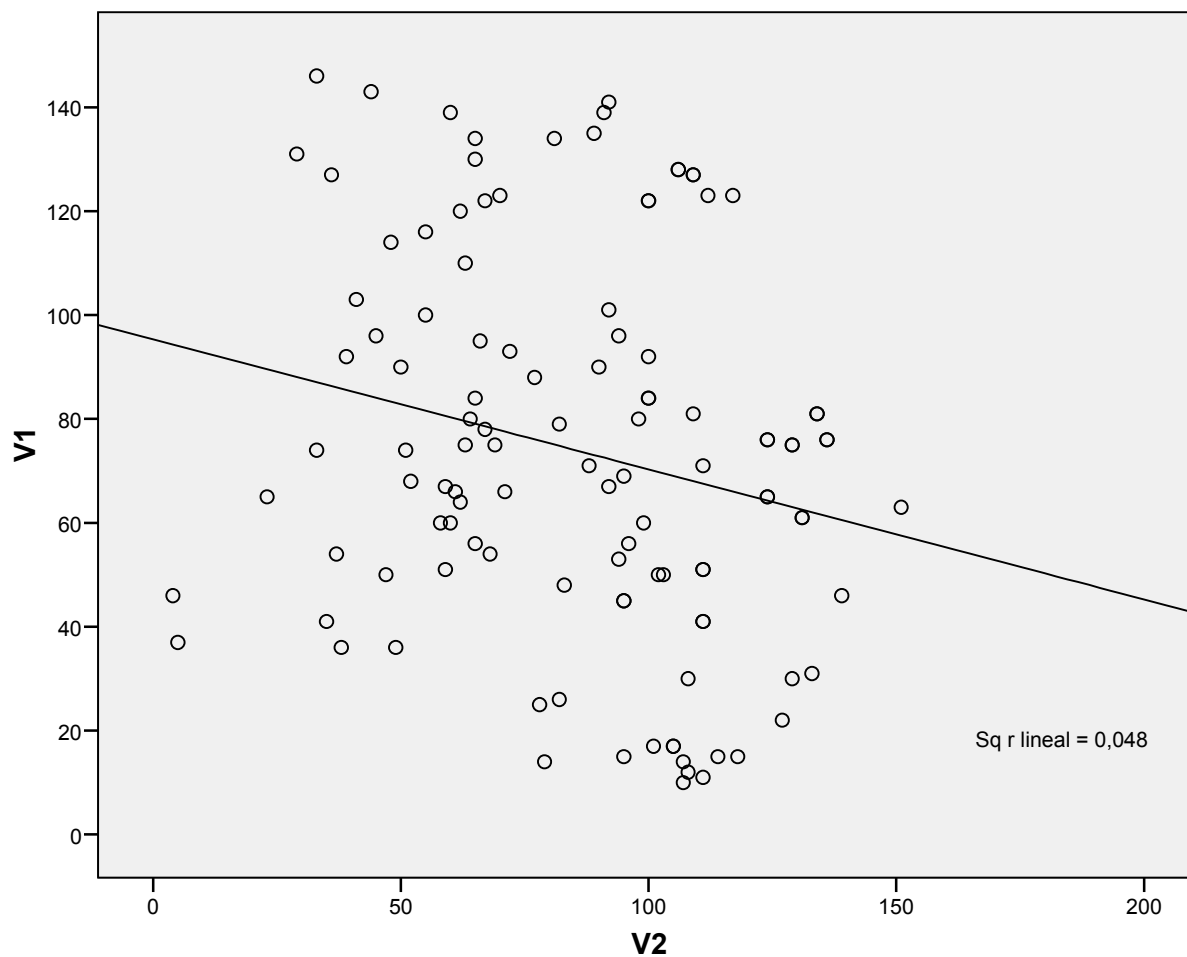
```
SAVE OUTFILE='G:\Necropolis\La Mercadera.sav'
/COMPRESSED.
GRAPH
/SCATTERPLOT(BIVAR)=V2 WITH V1
/MISSING=LISTWISE .
```

### Gráfico

#### Notas

|                    |                                      |                                |
|--------------------|--------------------------------------|--------------------------------|
| Resultados creados |                                      | 11-JAN-2013 16:25:52           |
| Comentarios        |                                      |                                |
| Entrada            | Datos                                | G:\Necropolis\La Mercadera.sav |
|                    | Conjunto de datos activo             | Conjunto_de_datos5             |
|                    | Filtro                               | <ninguna>                      |
|                    | Peso                                 | <ninguna>                      |
|                    | Segmentar archivo                    | <ninguna>                      |
| Sintaxis           | Núm. de filas del archivo de trabajo | 114                            |
|                    |                                      | GRAPH                          |
|                    |                                      | /SCATTERPLOT(BIVAR)=V2 WITH V1 |
| Recursos           |                                      | /MISSING=LISTWISE .            |
|                    | Tiempo de procesador                 | 0:00:00,25                     |
|                    | Tiempo transcurrido                  | 0:00:00,17                     |

[Conjunto\_de\_datos5] G:\Necropolis\La Mercadera.sav



```

REGRESSION
  /MISSING LISTWISE
  /STATISTICS COEFF OUTS CI R ANOVA
  /CRITERIA=PIN(.05) POUT(.10)
  /NOORIGIN
  /DEPENDENT V1
  /METHOD=ENTER V2  .

```

## Regresión

## Notas

|                                     |  |   |
|-------------------------------------|--|---|
| Resultados creados                  | 11-JAN-2013 16:26:03                                       |   |
| Comentarios                         |  |   |
| Entrada                             | Datos  | G:\Necropolis\La Mercadera.sav  |
|                                     | Conjunto de datos activo                                   | Conjunto_de_datos5  |
|                                     | Filtro   | <ninguna>   |
|                                     | Peso   | <ninguna>   |
|                                     | Segmentar archivo  | <ninguna>   |
|                                     | Núm. de filas del archivo de trabajo                       | 114   |
| Tratamiento de los valores perdidos | Definición de valores perdidos                             | Los valores perdidos definidos por el usuario serán tratados como perdidos.   |
|                                     | Casos utilizados   | Los estadísticos se basan en los casos sin valores perdidos para ninguna variable de las utilizadas.  |
| Sintaxis                            |  | REGRESSION<br>/MISSING LISTWISE<br>/STATISTICS COEFF OUTS CI R<br>ANOVA<br>/CRITERIA=PIN(.05) POUT(.10)<br>/NOORIGIN<br>/DEPENDENT V1<br>/METHOD=ENTER V2 . |
| Recursos                            | Tiempo de procesador                                       | 0:00:00,02  |
|                                     | Tiempo transcurrido  | 0:00:00,01  |
|                                     | Memoria necesaria  | 1348 bytes  |
|                                     | Memoria adicional requerida para los diagramas de residuos | 0 bytes   |

[Conjunto\_de\_datos5] G:\Necropolis\La Mercadera.sav

### Variables introducidas/eliminadas<sup>b</sup>

| Modelo | Variables introducidas | Variables eliminadas | Método     |
|--------|------------------------|----------------------|------------|
| 1      | V2 <sup>a</sup>        | .                    | Introducir |

a. Todas las variables solicitadas introducidas

b. Variable dependiente: V1

### Resumen del modelo

| Modelo | R                 | R cuadrado | R cuadrado corregida | Error típ. de la estimación |
|--------|-------------------|------------|----------------------|-----------------------------|
| 1      | ,218 <sup>a</sup> | ,048       | ,039                 | 35,958                      |

a. Variables predictoras: (Constante), V2

### ANOVA<sup>b</sup>

| Modelo |           | Suma de cuadrados | gl  | Media cuadrática | F     | Sig.              |
|--------|-----------|-------------------|-----|------------------|-------|-------------------|
| 1      | Regresión | 7254,185          | 1   | 7254,185         | 5,610 | ,020 <sup>a</sup> |
|        | Residual  | 144815,675        | 112 | 1292,997         |       |                   |
|        | Total     | 152069,860        | 113 |                  |       |                   |

a. Variables predictoras: (Constante), V2

b. Variable dependiente: V1

**Coeficientes<sup>a</sup>**

| Modelo        | Coeficientes no estandarizados |            | Coeficientes estandarizados | t      | Sig. |
|---------------|--------------------------------|------------|-----------------------------|--------|------|
|               | B                              | Error típ. | Beta                        |        |      |
| 1 (Constante) | 95,347                         | 9,635      |                             | 9,896  | ,000 |
| V2            | -,250                          | ,106       | -,218                       | -2,369 | ,020 |

### Coeficientes<sup>a</sup>

| Modelo        | Intervalo de confianza para B al 95% |                 |
|---------------|--------------------------------------|-----------------|
|               | Límite inferior                      | Límite superior |
| 1 (Constante) | 76,257                               | 114,437         |
| V2            | -,460                                | -,041           |

a. Variable dependiente: V1

```
GET DATA /TYPE = TXT
/FILE = 'G:\Necropolis\La Torraza.txt'
/DELCASE = LINE
/DELIMITERS = ", "
/ARRANGEMENT = DELIMITED
/FIRSTCASE = 1
/IMPORTCASE = ALL
/VARIABLES =
V1 F2.0
V2 F3.0
.
CACHE.
EXECUTE.
DATASET NAME Conjunto_de_datos6 WINDOW=FRONT.
SAVE OUTFILE='G:\Necropolis\La Torraza.sav'
/COMPRESSED.
DATASET ACTIVATE Conjunto_de_datos6.
DATASET CLOSE Conjunto_de_datos5.
GRAPH
/SCATTERPLOT(BIVAR)=V2 WITH V1
/MISSING=LISTWISE .
```

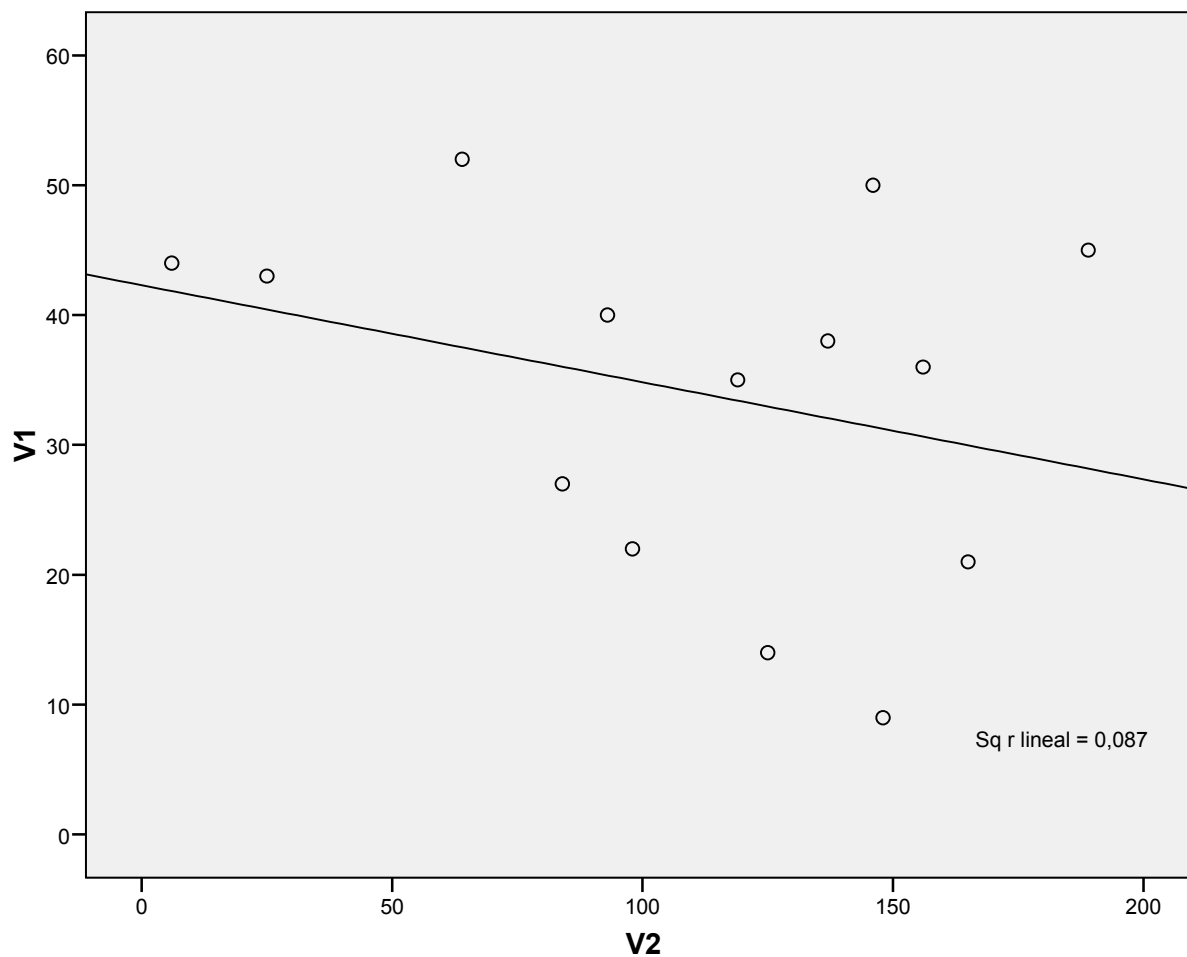
## Gráfico

### Notas

|                    |                                      |  |
|--------------------|--------------------------------------|--|
| Resultados creados |                                      | 11-JAN-2013 16:26:57   |
| Comentarios        |                                      |  |
| Entrada            | Datos                                | G:\Necropolis\La Torraza.sav                                   |
|                    | Conjunto de datos activo             | Conjunto_de_datos6   |
|                    | Filtro                               | <ninguna>  |
|                    | Peso                                 | <ninguna>  |
|                    | Segmentar archivo                    | <ninguna>  |
|                    | Núm. de filas del archivo de trabajo | 14   |
| Sintaxis           |                                      | GRAPH<br>/SCATTERPLOT(BIVAR)=V2 WITH V1<br>/MISSING=LISTWISE . |
| Recursos           | Tiempo de procesador                 | 0:00:00,22   |
|                    | Tiempo transcurrido                  | 0:00:00,17   |

[Conjunto\_de\_datos6] G:\Necropolis\La Torraza.sav





```

REGRESSION
  /MISSING LISTWISE
  /STATISTICS COEFF OUTS CI R ANOVA
  /CRITERIA=PIN(.05) POUT(.10)
  /NOORIGIN
  /DEPENDENT V1
  /METHOD=ENTER V2 .

```

## Regresión

## Notas

|                                     |  |   |
|-------------------------------------|--|---|
| Resultados creados                  | 11-JAN-2013 16:27:20                                       |   |
| Comentarios                         |  |   |
| Entrada                             | Datos  | G:\Necropolis\La Torraza.sav  |
|                                     | Conjunto de datos activo                                   | Conjunto_de_datos6  |
|                                     | Filtro   | <ninguna>   |
|                                     | Peso   | <ninguna>   |
|                                     | Segmentar archivo  | <ninguna>   |
|                                     | Núm. de filas del archivo de trabajo                       | 14  |
| Tratamiento de los valores perdidos | Definición de valores perdidos                             | Los valores perdidos definidos por el usuario serán tratados como perdidos.   |
|                                     | Casos utilizados   | Los estadísticos se basan en los casos sin valores perdidos para ninguna variable de las utilizadas.  |
| Sintaxis                            |  | REGRESSION<br>/MISSING LISTWISE<br>/STATISTICS COEFF OUTS CI R<br>ANOVA<br>/CRITERIA=PIN(.05) POUT(.10)<br>/NOORIGIN<br>/DEPENDENT V1<br>/METHOD=ENTER V2 . |
| Recursos                            | Tiempo de procesador                                       | 0:00:00,05  |
|                                     | Tiempo transcurrido  | 0:00:00,03  |
|                                     | Memoria necesaria  | 1348 bytes  |
|                                     | Memoria adicional requerida para los diagramas de residuos | 0 bytes   |

[Conjunto\_de\_datos6] G:\Necropolis\La Torraza.sav

### Variables introducidas/eliminadas<sup>b</sup>

| Modelo | Variables introducidas | Variables eliminadas | Método     |
|--------|------------------------|----------------------|------------|
| 1      | V2 <sup>a</sup>        | .                    | Introducir |

a. Todas las variables solicitadas introducidas

b. Variable dependiente: V1

### Resumen del modelo

| Modelo | R                 | R cuadrado | R cuadrado corregida | Error típ. de la estimación |
|--------|-------------------|------------|----------------------|-----------------------------|
| 1      | ,296 <sup>a</sup> | ,087       | ,011                 | 13,300                      |

a. Variables predictoras: (Constante), V2

### ANOVA<sup>b</sup>

| Modelo |           | Suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F     | Sig.              |
|--------|-----------|-------------------|----|------------------|-------|-------------------|
| 1      | Regresión | 203,214           | 1  | 203,214          | 1,149 | ,305 <sup>a</sup> |
|        | Residual  | 2122,786          | 12 | 176,899          |       |                   |
|        | Total     | 2326,000          | 13 |                  |       |                   |

a. Variables predictoras: (Constante), V2

b. Variable dependiente: V1

**Coeficientes<sup>a</sup>**

| Modelo        | Coeficientes no estandarizados |            | Coeficientes estandarizados | t      | Sig. |
|---------------|--------------------------------|------------|-----------------------------|--------|------|
|               | B                              | Error típ. | Beta                        |        |      |
| 1 (Constante) | 42,298                         | 8,519      |                             | 4,965  | ,000 |
| V2            | -,075                          | ,070       | -,296                       | -1,072 | ,305 |

### Coeficientes<sup>a</sup>

| Modelo        | Intervalo de confianza para B al 95% |                 |
|---------------|--------------------------------------|-----------------|
|               | Límite inferior                      | Límite superior |
| 1 (Constante) | 23,736                               | 60,860          |
| V2            | -,227                                | ,077            |

a. Variable dependiente: V1

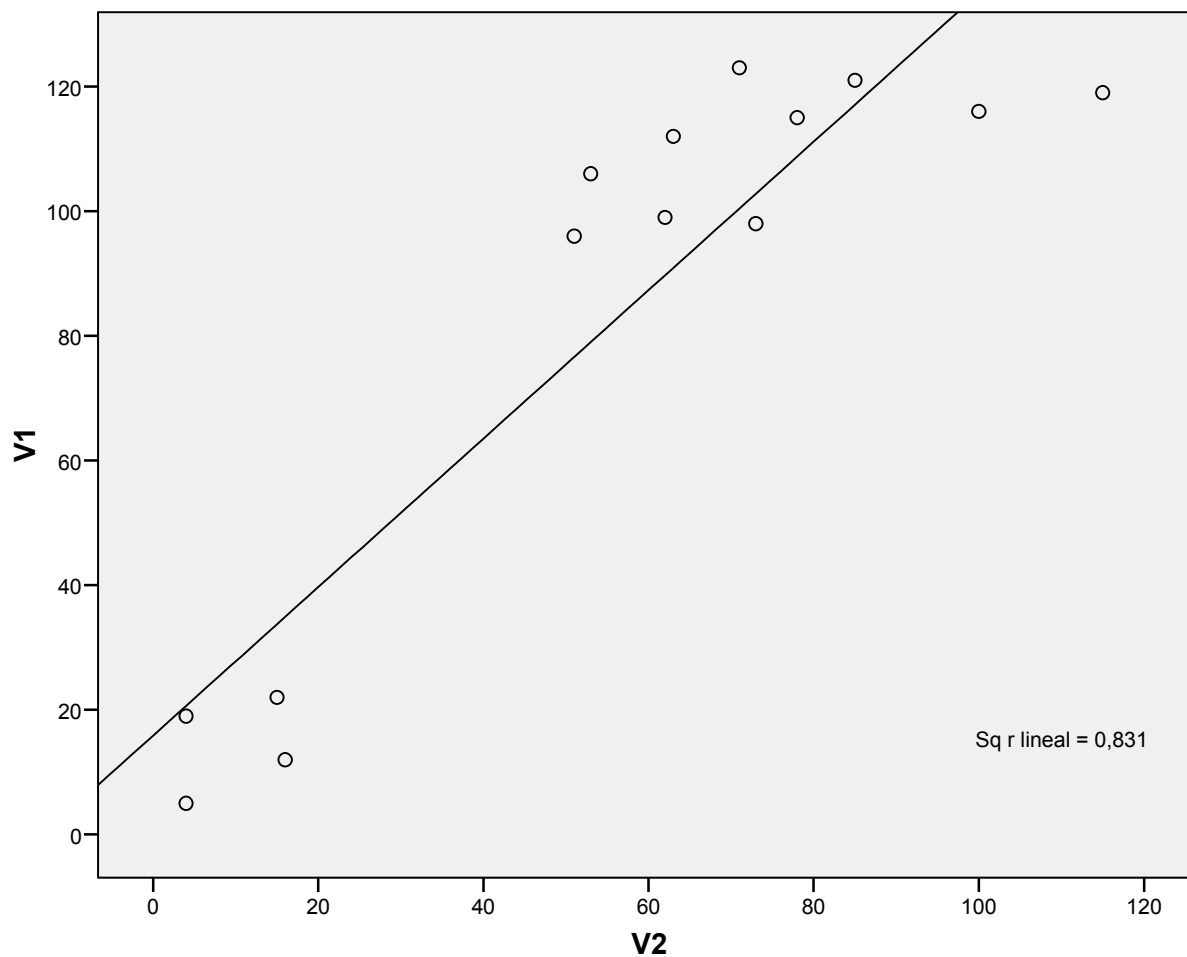
```
GET DATA /TYPE = TXT
/FILE = 'G:\Necropolis\Les Obagues.txt'
/DELCASE = LINE
/DELIMITERS = ", "
/ARRANGEMENT = DELIMITED
/FIRSTCASE = 1
/IMPORTCASE = ALL
/VARIABLES =
V1 F3.0
V2 F3.0
.
CACHE.
EXECUTE.
DATASET NAME Conjunto_de_datos7 WINDOW=FRONT.
DATASET ACTIVATE Conjunto_de_datos7.
DATASET CLOSE Conjunto_de_datos6.
SAVE OUTFILE='G:\Necropolis\Les Obagues.sav'
/COMPRESSED.
GRAPH
/SCATTERPLOT(BIVAR)=V2 WITH V1
/MISSING=LISTWISE .
```

## Gráfico

### Notas

|                    |                                      |  |
|--------------------|--------------------------------------|--|
| Resultados creados |                                      | 11-JAN-2013 16:28:10   |
| Comentarios        |                                      |  |
| Entrada            | Datos                                | G:\Necropolis\Les Obagues.sav                                  |
|                    | Conjunto de datos activo             | Conjunto_de_datos7   |
|                    | Filtro                               | <ninguna>  |
|                    | Peso                                 | <ninguna>  |
|                    | Segmentar archivo                    | <ninguna>  |
|                    | Núm. de filas del archivo de trabajo | 14   |
| Sintaxis           |                                      | GRAPH<br>/SCATTERPLOT(BIVAR)=V2 WITH V1<br>/MISSING=LISTWISE . |
| Recursos           | Tiempo de procesador                 | 0:00:00,20   |
|                    | Tiempo transcurrido                  | 0:00:00,18   |

[Conjunto\_de\_datos7] G:\Necropolis\Les Obagues.sav



```

REGRESSION
  /MISSING LISTWISE
  /STATISTICS COEFF OUTS CI R ANOVA
  /CRITERIA=PIN(.05) POUT(.10)
  /NOORIGIN
  /DEPENDENT V1
  /METHOD=ENTER V2 .

```

## Regresión

## Notas

|                                     |  |  |
|-------------------------------------|--|--|
| Resultados creados                  | 11-JAN-2013 16:28:29                                       |  |
| Comentarios                         |  |  |
| Entrada                             | Datos  | G:\Necropolis\Les Obagues.sav  |
|                                     | Conjunto de datos activo                                   | Conjunto_de_datos7   |
|                                     | Filtro   | <ninguna>  |
|                                     | Peso   | <ninguna>  |
|                                     | Segmentar archivo  | <ninguna>  |
|                                     | Núm. de filas del archivo de trabajo                       | 14   |
| Tratamiento de los valores perdidos | Definición de valores perdidos                             | Los valores perdidos definidos por el usuario serán tratados como perdidos.  |
|                                     | Casos utilizados   | Los estadísticos se basan en los casos sin valores perdidos para ninguna variable de las utilizadas.   |
| Sintaxis                            |  | REGRESSION<br>/MISSING LISTWISE<br>/STATISTICS COEFF OUTS CI R ANOVA<br>/CRITERIA=PIN(.05) POUT(.10)<br>/NOORIGIN<br>/DEPENDENT V1<br>/METHOD=ENTER V2 . |
| Recursos                            | Tiempo de procesador                                       | 0:00:00,02   |
|                                     | Tiempo transcurrido  | 0:00:00,01   |
|                                     | Memoria necesaria  | 1348 bytes   |
|                                     | Memoria adicional requerida para los diagramas de residuos | 0 bytes  |

[Conjunto\_de\_datos7] G:\Necropolis\Les Obagues.sav

### Variables introducidas/eliminadas<sup>b</sup>

| Modelo | Variables introducidas | Variables eliminadas | Método     |
|--------|------------------------|----------------------|------------|
| 1      | V2 <sup>a</sup>        | .                    | Introducir |

a. Todas las variables solicitadas introducidas

b. Variable dependiente: V1

### Resumen del modelo

| Modelo | R                 | R cuadrado | R cuadrado corregida | Error típ. de la estimación |
|--------|-------------------|------------|----------------------|-----------------------------|
| 1      | ,911 <sup>a</sup> | ,831       | ,817                 | 19,660                      |

a. Variables predictoras: (Constante), V2

### ANOVA<sup>b</sup>

| Modelo |           | Suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F      | Sig.              |
|--------|-----------|-------------------|----|------------------|--------|-------------------|
| 1      | Regresión | 22776,662         | 1  | 22776,662        | 58,927 | ,000 <sup>a</sup> |
|        | Residual  | 4638,266          | 12 | 386,522          |        |                   |
|        | Total     | 27414,929         | 13 |                  |        |                   |

a. Variables predictoras: (Constante), V2

b. Variable dependiente: V1

**Coeficientes<sup>a</sup>**

| Modelo        | Coeficientes no estandarizados |            | Coeficientes estandarizados | t     | Sig. |
|---------------|--------------------------------|------------|-----------------------------|-------|------|
|               | B                              | Error típ. | Beta                        |       |      |
| 1 (Constante) | 15,874                         | 10,210     |                             | 1,555 | ,146 |
| V2            | 1,191                          | ,155       | ,911                        | 7,676 | ,000 |

### Coeficientes<sup>a</sup>

| Modelo        | Intervalo de confianza para B al 95% |                 |
|---------------|--------------------------------------|-----------------|
|               | Límite inferior                      | Límite superior |
| 1 (Constante) | -6,371                               | 38,119          |
| V2            | ,853                                 | 1,529           |

a. Variable dependiente: V1

```
GET DATA /TYPE = TXT
/FILE = 'G:\Necropolis\Mola.txt'
/DELCASE = LINE
/DELIMITERS = ", "
/ARRANGEMENT = DELIMITED
/FIRSTCASE = 1
/IMPORTCASE = ALL
/VARIABLES =
V1 F3.0
V2 F2.0
.
CACHE.
EXECUTE.
DATASET NAME Conjunto_de_datos8 WINDOW=FRONT.
DATASET ACTIVATE Conjunto_de_datos8.
DATASET CLOSE Conjunto_de_datos7.
SAVE OUTFILE='G:\Necropolis\Mola.sav'
/COMPRESSED.
GRAPH
/SCATTERPLOT(BIVAR)=V2 WITH V1
/MISSING=LISTWISE .
```

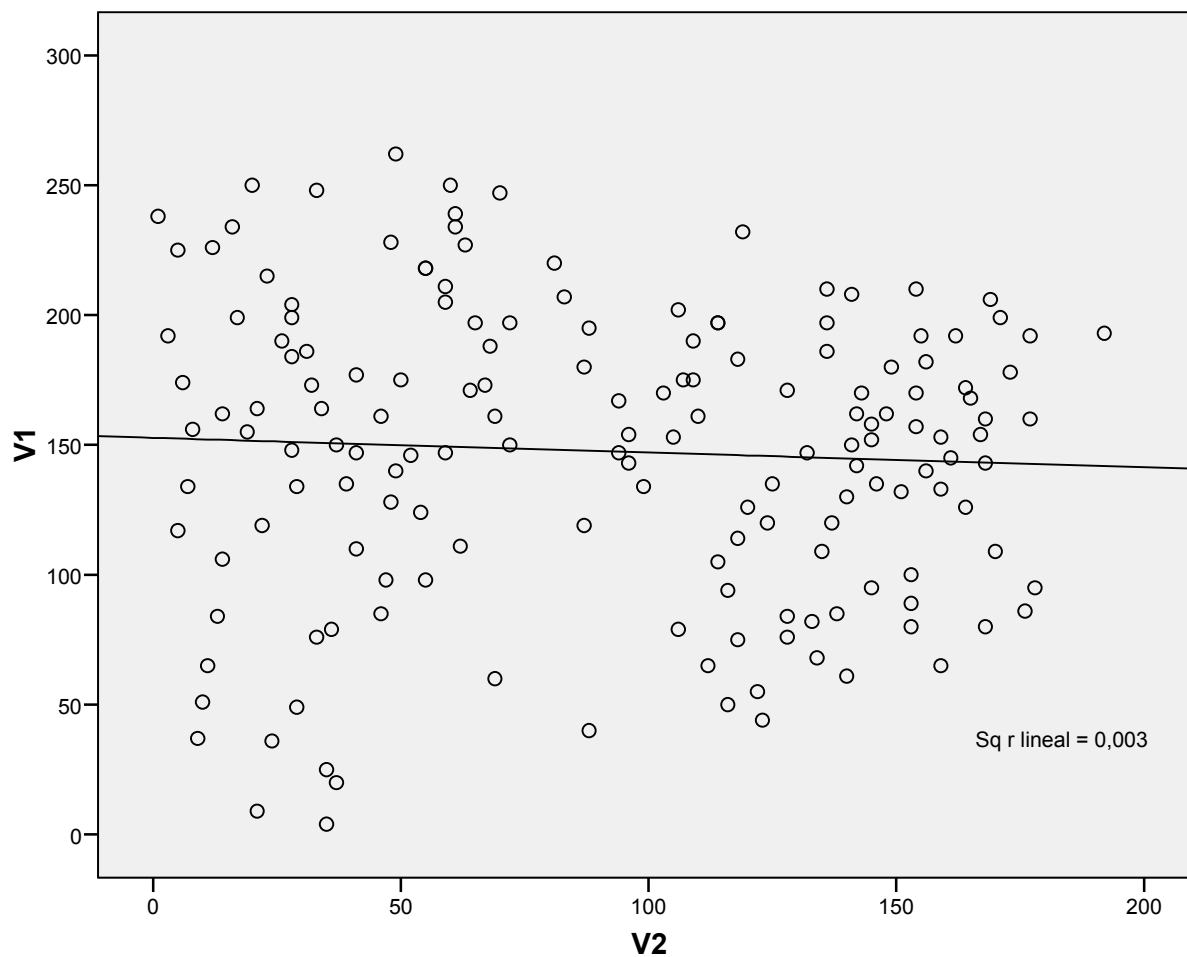
## Gráfico

### Notas

|                    |                                      |  |
|--------------------|--------------------------------------|--|
| Resultados creados |                                      | 11-JAN-2013 16:29:29   |
| Comentarios        |                                      |  |
| Entrada            | Datos                                | G:\Necropolis\Mola.sav   |
|                    | Conjunto de datos activo             | Conjunto_de_datos8   |
|                    | Filtro                               | <ninguna>  |
|                    | Peso                                 | <ninguna>  |
|                    | Segmentar archivo                    | <ninguna>  |
|                    | Núm. de filas del archivo de trabajo | 164  |
| Sintaxis           |                                      | GRAPH<br>/SCATTERPLOT(BIVAR)=V2 WITH V1<br>/MISSING=LISTWISE . |
| Recursos           | Tiempo de procesador                 | 0:00:00,25   |
|                    | Tiempo transcurrido                  | 0:00:00,18   |

[Conjunto\_de\_datos8] G:\Necropolis\Mola.sav





```

REGRESSION
  /MISSING LISTWISE
  /STATISTICS COEFF OUTS CI R ANOVA
  /CRITERIA=PIN(.05) POUT(.10)
  /NOORIGIN
  /DEPENDENT V1
  /METHOD=ENTER V2 .

```

## Regresión

## Notas

|                                     |  |  |
|-------------------------------------|--|--|
| Resultados creados                  | 11-JAN-2013 16:29:50                                       |  |
| Comentarios                         |  |  |
| Entrada                             | Datos  | G:\Necropolis\Mola.sav   |
|                                     | Conjunto de datos activo                                   | Conjunto_de_datos8   |
|                                     | Filtro   | <ninguna>  |
|                                     | Peso   | <ninguna>  |
|                                     | Segmentar archivo  | <ninguna>  |
|                                     | Núm. de filas del archivo de trabajo                       | 164  |
| Tratamiento de los valores perdidos | Definición de valores perdidos                             | Los valores perdidos definidos por el usuario serán tratados como perdidos.  |
|                                     | Casos utilizados   | Los estadísticos se basan en los casos sin valores perdidos para ninguna variable de las utilizadas.   |
| Sintaxis                            |  | REGRESSION<br>/MISSING LISTWISE<br>/STATISTICS COEFF OUTS CI R ANOVA<br>/CRITERIA=PIN(.05) POUT(.10)<br>/NOORIGIN<br>/DEPENDENT V1<br>/METHOD=ENTER V2 . |
| Recursos                            | Tiempo de procesador                                       | 0:00:00,03   |
|                                     | Tiempo transcurrido  | 0:00:00,01   |
|                                     | Memoria necesaria  | 1348 bytes   |
|                                     | Memoria adicional requerida para los diagramas de residuos | 0 bytes  |

[Conjunto\_de\_datos8] G:\Necropolis\Mola.sav

### Variables introducidas/eliminadas<sup>b</sup>

| Modelo | Variables introducidas | Variables eliminadas | Método     |
|--------|------------------------|----------------------|------------|
| 1      | V2 <sup>a</sup>        | .                    | Introducir |

a. Todas las variables solicitadas introducidas

b. Variable dependiente: V1

### Resumen del modelo

| Modelo | R                 | R cuadrado | R cuadrado corregida | Error típ. de la estimación |
|--------|-------------------|------------|----------------------|-----------------------------|
| 1      | ,055 <sup>a</sup> | ,003       | -,003                | 56,609                      |

a. Variables predictoras: (Constante), V2

### ANOVA<sup>b</sup>

| Modelo |           | Suma de cuadrados | gl  | Media cuadrática | F    | Sig.              |
|--------|-----------|-------------------|-----|------------------|------|-------------------|
| 1      | Regresión | 1553,049          | 1   | 1553,049         | ,485 | ,487 <sup>a</sup> |
|        | Residual  | 519132,920        | 162 | 3204,524         |      |                   |
|        | Total     | 520685,970        | 163 |                  |      |                   |

a. Variables predictoras: (Constante), V2

b. Variable dependiente: V1

**Coeficientes<sup>a</sup>**

| Modelo        | Coeficientes no estandarizados |            | Coeficientes estandarizados | t      | Sig. |
|---------------|--------------------------------|------------|-----------------------------|--------|------|
|               | B                              | Error típ. | Beta                        |        |      |
| 1 (Constante) | 152,734                        | 8,623      |                             | 17,712 | ,000 |
| V2            | -,057                          | ,081       | -,055                       | -,696  | ,487 |

### Coeficientes<sup>a</sup>

| Modelo        | Intervalo de confianza para B al 95% |                 |
|---------------|--------------------------------------|-----------------|
|               | Límite inferior                      | Límite superior |
| 1 (Constante) | 135,705                              | 169,762         |
| V2            | -,217                                | ,104            |

a. Variable dependiente: V1

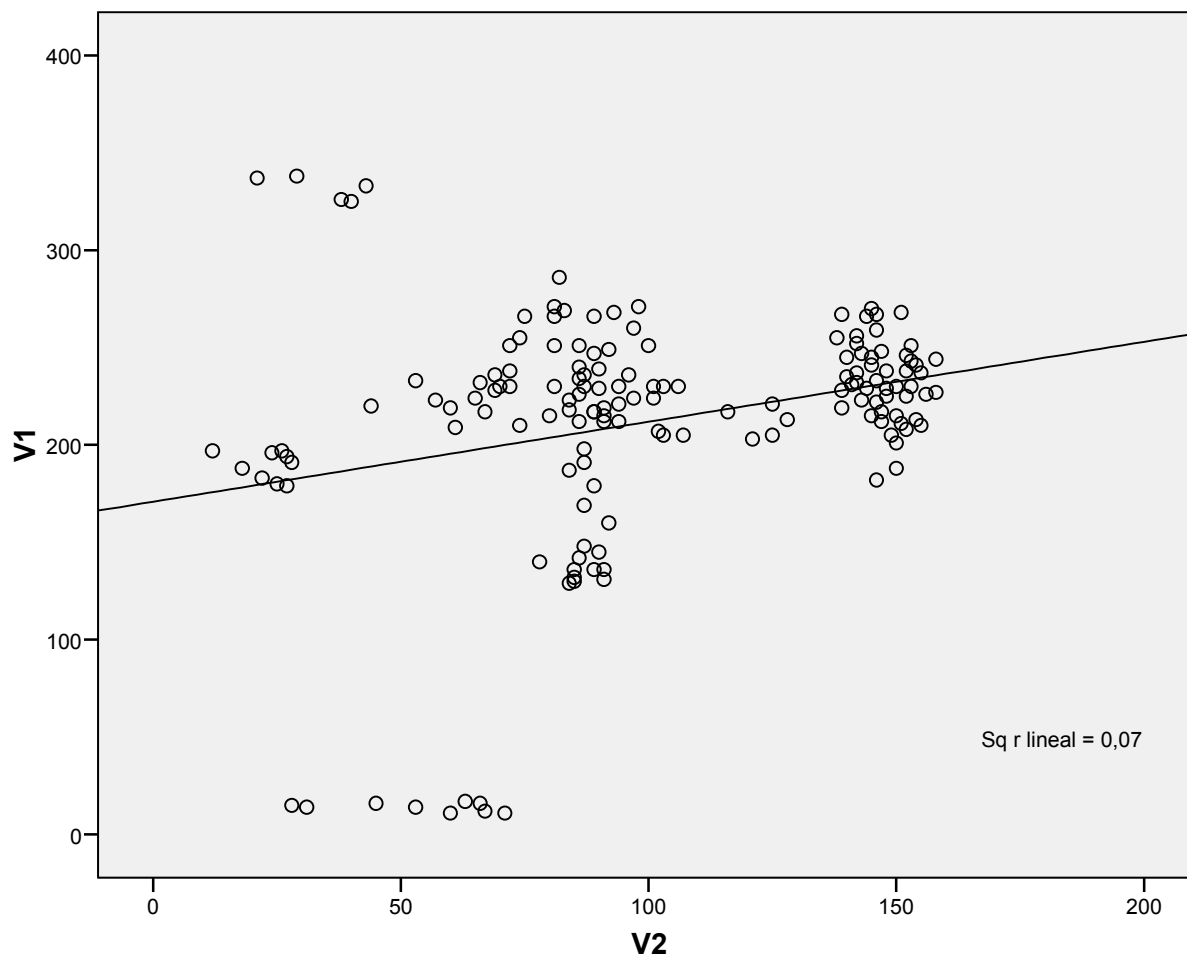
```
GET DATA /TYPE = TXT
/FILE = 'G:\Necropolis\Numancia.txt'
/DELCASE = LINE
/DELIMITERS = ", "
/ARRANGEMENT = DELIMITED
/FIRSTCASE = 1
/IMPORTCASE = ALL
/VARIABLES =
V1 F3.0
V2 F3.0
.
CACHE.
EXECUTE.
DATASET NAME Conjunto_de_datos9 WINDOW=FRONT.
DATASET ACTIVATE Conjunto_de_datos9.
DATASET CLOSE Conjunto_de_datos8.
SAVE OUTFILE='G:\Necropolis\numancia.sav'
/COMPRESSED.
GRAPH
/SCATTERPLOT(BIVAR)=V2 WITH V1
/MISSING=LISTWISE .
```

## Gráfico

### Notas

|                    |                                      |   |
|--------------------|--------------------------------------|---|
| Resultados creados |                                      | 11-JAN-2013 16:30:36  |
| Comentarios        |                                      |   |
| Entrada            | Datos                                | G:\Necropolis<br>umancia.sav                                      |
|                    | Conjunto de datos activo             | Conjunto_de_datos9  |
|                    | Filtro                               | <ninguna>   |
|                    | Peso                                 | <ninguna>   |
|                    | Segmentar archivo                    | <ninguna>   |
|                    | Núm. de filas del archivo de trabajo | 155   |
| Sintaxis           |                                      | GRAPH<br>/SCATTERPLOT(BIVAR)=V2 WITH<br>V1<br>/MISSING=LISTWISE . |
| Recursos           | Tiempo de procesador                 | 0:00:00,19  |
|                    | Tiempo transcurrido                  | 0:00:00,17  |

[Conjunto\_de\_datos9] G:\Necropolis\numancia.sav



```

REGRESSION
  /MISSING LISTWISE
  /STATISTICS COEFF OUTS CI R ANOVA
  /CRITERIA=PIN(.05) POUT(.10)
  /NOORIGIN
  /DEPENDENT V1
  /METHOD=ENTER V2  .

```

## Regresión

## Notas

|                                     |  |  |
|-------------------------------------|--|--|
| Resultados creados                  | 11-JAN-2013 16:31:12                                       |  |
| Comentarios                         |  |  |
| Entrada                             | Datos  | G:\Necropolis<br>umancia.sav   |
|                                     | Conjunto de datos activo                                   | Conjunto_de_datos9   |
|                                     | Filtro   | <ninguna>  |
|                                     | Peso   | <ninguna>  |
|                                     | Segmentar archivo  | <ninguna>  |
|                                     | Núm. de filas del archivo de trabajo                       | 155  |
| Tratamiento de los valores perdidos | Definición de valores perdidos                             | Los valores perdidos definidos por el usuario serán tratados como perdidos.  |
|                                     | Casos utilizados   | Los estadísticos se basan en los casos sin valores perdidos para ninguna variable de las utilizadas.   |
| Sintaxis                            |  | REGRESSION<br>/MISSING LISTWISE<br>/STATISTICS COEFF OUTS CI R ANOVA<br>/CRITERIA=PIN(.05) POUT(.10)<br>/NOORIGIN<br>/DEPENDENT V1<br>/METHOD=ENTER V2 . |
| Recursos                            | Tiempo de procesador                                       | 0:00:00,00   |
|                                     | Tiempo transcurrido  | 0:00:00,01   |
|                                     | Memoria necesaria  | 1348 bytes   |
|                                     | Memoria adicional requerida para los diagramas de residuos | 0 bytes  |

[Conjunto\_de\_datos9] G:\Necropolis\numancia.sav

### Variables introducidas/eliminadas<sup>b</sup>

| Modelo | Variables introducidas | Variables eliminadas | Método     |
|--------|------------------------|----------------------|------------|
| 1      | V2 <sup>a</sup>        | .                    | Introducir |

a. Todas las variables solicitadas introducidas

b. Variable dependiente: V1

### Resumen del modelo

| Modelo | R                 | R cuadrado | R cuadrado corregida | Error típ. de la estimación |
|--------|-------------------|------------|----------------------|-----------------------------|
| 1      | ,264 <sup>a</sup> | ,070       | ,064                 | 60,010                      |

a. Variables predictoras: (Constante), V2

### ANOVA<sup>b</sup>

| Modelo |           | Suma de cuadrados | gl  | Media cuadrática | F      | Sig.              |
|--------|-----------|-------------------|-----|------------------|--------|-------------------|
| 1      | Regresión | 41311,563         | 1   | 41311,563        | 11,472 | ,001 <sup>a</sup> |
|        | Residual  | 550987,186        | 153 | 3601,223         |        |                   |
|        | Total     | 592298,748        | 154 |                  |        |                   |

a. Variables predictoras: (Constante), V2

b. Variable dependiente: V1

### Coeficientes<sup>a</sup>

| Modelo        | Coeficientes no estandarizados |            | Coeficientes estandarizados | t      | Sig. |
|---------------|--------------------------------|------------|-----------------------------|--------|------|
|               | B                              | Error típ. | Beta                        |        |      |
| 1 (Constante) | 170,843                        | 12,989     |                             | 13,152 | ,000 |
| V2            | ,411                           | ,121       | ,264                        | 3,387  | ,001 |

**Coeficientes<sup>a</sup>**

| Modelo        | Intervalo de confianza para B al 95% |                 |
|---------------|--------------------------------------|-----------------|
|               | Límite inferior                      | Límite superior |
| 1 (Constante) | 145,181                              | 196,505         |
| V2            | ,171                                 | ,650            |

a. Variable dependiente: V1

Su licencia temporal de SPSS for Windows caducará dentro de 18337 días.





#### A4.1. Cálculo del acimut de la Referencia

[illegible]

## A4.2. Datos recogidos con el teodolito

|                  |           |           |                            |       |            |  |
|------------------|-----------|-----------|----------------------------|-------|------------|--|
| <b>BOTA-REFE</b> | <b>CD</b> | <b>CI</b> | Hora comienzo              |       | Hora final |  |
| H                | 386,2610  | 186,2764  | 386,2687                   | 10:25 | 13:05      |  |
| V                | 89,5380   | 310,2959  | 347,64183 en sexagesimales |       |            |  |

|                |           |           |           |           |           |           |
|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <b>BOTA-C1</b> | <b>CD</b> | <b>CI</b> | <b>CD</b> | <b>CI</b> | <b>CD</b> | <b>CI</b> |
| H              | 25,8934   | 225,9688  | 25,9010   | 225,9418  | 25,8784   | 225,9414  |
| V              | 101,8132  | 298,0174  | 101,8124  | 298,0142  | 101,8110  | 298,0152  |
| DIST H         | 9,8310    | 9,8300    | 9,8320    | 9,8300    | 9,8310    | 9,8300    |
| DIST G         | 9,8350    | 9,8350    | 9,8350    | 9,8350    | 9,8350    | 9,8350    |
| ELEV           | -0,2800   | -0,3050   | -0,2800   | -0,3070   | -0,2800   | -0,3070   |

|                |           |           |           |           |           |           |
|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <b>BOTA-C5</b> | <b>CD</b> | <b>CI</b> | <b>CD</b> | <b>CI</b> | <b>CD</b> | <b>CI</b> |
| H              | 215,2546  | 15,2608   | 215,2552  | 15,2514   | 215,2492  | 15,2542   |
| V              | 101,3850  | 298,4409  | 101,3858  | 298,4472  | 101,3848  | 298,4434  |
| DIST H         | 18,4330   | 18,4310   | 18,4320   | 18,4310   | 18,4320   | 18,4310   |
| DIST G         | 18,4370   | 18,4360   | 18,4370   | 18,4370   | 18,4370   | 18,4370   |
| ELEV           | -0,4010   | -0,4510   | -0,4010   | -0,4500   | -0,4010   | -0,4510   |

acimutes de BOTA-C1 y BOTA-C5      acimut REFE      320,6583 en sexagesimales

BOTA-C1      8,7033 en sexagesimales  
BOTA-C5      166,7453 en sexagesimales

|              |           |           |           |           |           |           |
|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <b>C4-C5</b> | <b>CD</b> | <b>CI</b> | <b>CD</b> | <b>CI</b> | <b>CD</b> | <b>CI</b> |
| H            | 4,7824    | 204,7915  | 4,7888    | 204,7936  | 4,7676    | 204,7932  |
| V            | 99,2492   | 300,5772  | 99,2530   | 300,5730  | 99,2532   | 300,5764  |
| DIST H       | 18,8030   | 18,8040   | 18,8050   | 18,8050   | 18,8040   | 18,8050   |
| DIST G       | 18,8040   | 18,8050   | 18,8050   | 18,8060   | 18,8060   | 18,8060   |
| ELEV         | 0,2220    | 0,1700    | 0,2210    | 0,1690    | 0,2210    | 0,1700    |

|              |           |           |           |           |           |           |
|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <b>C4-C1</b> | <b>CD</b> | <b>CI</b> | <b>CD</b> | <b>CI</b> | <b>CD</b> | <b>CI</b> |
| H            | 143,9415  | 343,9682  | 143,9356  | 343,9402  | 143,9106  | 343,9784  |
| V            | 98,1814   | 301,6464  | 98,1786   | 301,6542  | 98,1660   | 301,6546  |
| DIST H       | 12,7980   | 12,7990   | 12,7980   | 12,7990   | 12,7980   | 12,7990   |
| DIST G       | 12,8030   | 12,8040   | 12,8030   | 12,8030   | 12,8030   | 12,8030   |
| ELEV         | 0,3660    | 0,3310    | 0,3660    | 0,3330    | 0,3690    | 0,3330    |

|                |           |           |           |           |           |           |
|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <b>C5-BOTA</b> | <b>CD</b> | <b>CI</b> | <b>CD</b> | <b>CI</b> | <b>CD</b> | <b>CI</b> |
| H              | 303,1958  | 103,1758  | 303,1154  | 103,1890  | 303,1322  | 103,2198  |
| V              | 98,2988   | 301,5340  | 98,3004   | 301,5310  | 98,2964   | 301,5382  |
| DIST H         | 18,4350   | 18,4370   | 18,4350   | 18,4360   | 18,4350   | 18,4360   |
| DIST G         | 18,4420   | 18,4420   | 18,4420   | 18,4410   | 18,4420   | 18,4410   |
| ELEV           | 0,4930    | 0,4440    | 0,4920    | 0,4430    | 0,4940    | 0,4450    |

|              |           |           |           |           |           |           |
|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <b>C5-C4</b> | <b>CD</b> | <b>CI</b> | <b>CD</b> | <b>CI</b> | <b>CD</b> | <b>CI</b> |
| H            | 330,9428  | 130,9700  | 330,9428  | 130,9760  | 330,9288  | 130,9710  |
| V            | 99,8946   | 299,9286  | 99,8956   | 299,9354  | 99,8968   | 299,9318  |
| DIST H       | 18,8040   | 18,8030   | 18,8030   | 18,8040   | 18,8030   | 18,8030   |
| DIST G       | 18,8040   | 18,8030   | 18,8030   | 18,8040   | 18,8040   | 18,8030   |
| ELEV         | 0,0310    | -0,0210   | 0,0310    | -0,0190   | 0,0310    | -0,0200   |

|                |           |           |           |           |           |           |
|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <b>C1-BOTA</b> | <b>CD</b> | <b>CI</b> | <b>CD</b> | <b>CI</b> | <b>CD</b> | <b>CI</b> |
| H              | 124,3078  | 324,3432  | 124,2970  | 324,3504  | 124,2994  | 324,2940  |
| V              | 98,0714   | 301,7580  | 98,0740   | 301,7590  | 98,0682   | 301,7564  |
| DIST H         | 9,8960    | 9,8970    | 9,8960    | 9,8970    | 9,8970    | 9,8970    |
| DIST G         | 9,9000    | 9,9000    | 9,9010    | 9,9010    | 9,9010    | 9,9010    |
| ELEV           | 0,3000    | 0,2730    | 0,3000    | 0,2730    | 0,3000    | 0,2730    |

|              |           |           |           |           |           |           |
|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <b>C1-C4</b> | <b>CD</b> | <b>CI</b> | <b>CD</b> | <b>CI</b> | <b>CD</b> | <b>CI</b> |
| H            | 81,0886   | 281,0824  | 81,1124   | 281,0958  | 81,0776   | 281,0946  |
| V            | 100,7920  | 299,0384  | 100,7944  | 299,0358  | 100,7906  | 299,0414  |
| DIST H       | 12,8520   | 12,8520   | 12,8510   | 12,8510   | 12,8570   | 12,8510   |
| DIST G       | 12,8530   | 12,8530   | 12,8520   | 12,8530   | 12,8530   | 12,8530   |
| ELEV         | -0,1600   | -0,1940   | -0,1600   | -0,1940   | -0,1600   | -0,1940   |

|                  |           |           |           |
|------------------|-----------|-----------|-----------|
| <b>BOTA-REFE</b> | <b>CD</b> | <b>CD</b> | <b>CD</b> |
| H                | 23,7816   | 23,8080   | 23,7816   |
| V                | 89,6268   | 89,6388   | 89,6278   |

|           |           |           |           |
|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <b>C6</b> | <b>CD</b> | <b>CD</b> | <b>CD</b> |
| H         | 327,3046  | 327,1908  | 327,2762  |
| V         | 97,1576   | 97,1576   | 97,1504   |
| DIST H    | 17,3820   | 17,3890   | 17,3580   |
| DIST G    | 17,4010   | 17,4160   | 17,3760   |
| ELEV      | 0,7770    | 0,7770    | 0,7780    |

|           |           |           |           |
|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <b>C7</b> | <b>CD</b> | <b>CD</b> | <b>CD</b> |
| H         | 373,0160  | 373,0054  | 373,0906  |
| V         | 96,0232   | 96,0224   | 96,0222   |
| DIST H    | 13,6270   | 13,6230   | 13,6270   |
| DIST G    | 13,6540   | 13,6500   | 13,6540   |
| ELEV      | 0,8530    | 0,8520    | 0,8530    |

|           |           |           |           |
|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <b>C8</b> | <b>CD</b> | <b>CD</b> | <b>CD</b> |
| H         | 13,6862   | 13,6832   | 13,6634   |
| V         | 97,1054   | 97,0986   | 97,0984   |
| DIST H    | 20,7010   | 20,6850   | 20,6870   |
| DIST G    | 20,7220   | 20,7050   | 20,7080   |
| ELEV      | 0,9420    | 0,9430    | 0,9440    |

|           |           |           |           |
|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <b>C1</b> | <b>CD</b> | <b>CD</b> | <b>CD</b> |
| H         | 63,1650   | 63,2889   | 63,4380   |
| V         | 97,8088   | 97,8070   | 97,8068   |
| DIST H    | 9,9020    | 9,8730    | 9,8500    |
| DIST G    | 9,9080    | 9,8790    | 9,8560    |
| ELEV      | 0,3410    | 0,3400    | 0,3390    |

|           |           |           |           |
|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <b>C4</b> | <b>CD</b> | <b>CD</b> | <b>CD</b> |
| H         | 163,5316  | 163,5818  | 163,4008  |
| V         | 99,8416   | 99,8464   | 99,8466   |
| DIST H    | 8,1570    | 8,1120    | 8,1640    |
| DIST G    | 8,1570    | 8,1120    | 8,1640    |
| ELEV      | 0,0200    | 0,0200    | 0,0200    |

|           |           |           |           |
|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <b>C5</b> | <b>CD</b> | <b>CD</b> | <b>CD</b> |
| H         | 252,6704  | 252,7284  | 252,6564  |
| V         | 99,2790   | 99,2784   | 99,2780   |
| DIST H    | 18,4390   | 18,4350   | 18,4650   |
| DIST G    | 18,4400   | 18,4360   | 18,4660   |
| ELEV      | 0,2090    | 0,2090    | 0,2090    |

|                |           |           |           |           |           |           |
|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <b>C1-BOTA</b> | <b>CD</b> | <b>CI</b> | <b>CD</b> | <b>CI</b> | <b>CD</b> | <b>CI</b> |
| H              | 124,3078  | 324,3432  | 124,2970  | 324,3504  | 124,2994  | 324,2940  |
| V              | 98,0714   | 301,7580  | 98,0740   | 301,7590  | 98,0682   | 301,7564  |
| DIST H         | 9,8960    | 9,8970    | 9,8960    | 9,8970    | 9,8970    | 9,8970    |
| DIST G         | 9,9000    | 9,9000    | 9,9010    | 9,9010    | 9,9010    | 9,9010    |
| ELEV           | 0,3000    | 0,2730    | 0,3000    | 0,2730    | 0,3000    | 0,2730    |

|              |           |           |           |           |           |           |
|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <b>C1-C4</b> | <b>CD</b> | <b>CI</b> | <b>CD</b> | <b>CI</b> | <b>CD</b> | <b>CI</b> |
| H            | 81,0886   | 281,0824  | 81,1124   | 281,0958  | 81,0776   | 281,0946  |
| V            | 100,7920  | 299,0384  | 100,7944  | 299,0358  | 100,7906  | 299,0414  |
| DIST H       | 12,8520   | 12,8520   | 12,8510   | 12,8510   | 12,8570   | 12,8510   |
| DIST G       | 12,8530   | 12,8530   | 12,8520   | 12,8530   | 12,8530   | 12,8530   |
| ELEV         | -0,1600   | -0,1940   | -0,1600   | -0,1940   | -0,1600   | -0,1940   |

|                |           |           |           |           |           |           |
|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <b>C1-BOTA</b> | <b>CD</b> | <b>CI</b> | <b>CD</b> | <b>CI</b> | <b>CD</b> | <b>CI</b> |
| H              | 124,3255  |           | 124,3237  |           | 124,2967  |           |
| V              | 98,1567   |           | 98,1575   |           | 98,1559   |           |
| media H        | 124,3153  | disp H    | 0,0132    |           |           |           |
| media V        | 98,1567   | disp V    | 0,0007    |           |           |           |

|              |           |           |           |           |           |           |
|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <b>C1-C4</b> | <b>CD</b> | <b>CI</b> | <b>CD</b> | <b>CI</b> | <b>CD</b> | <b>CI</b> |
| H            | 81,0855   |           | 81,1041   |           | 81,0861   |           |
| V            | 100,8768  |           | 100,8793  |           | 100,8746  |           |
| media H      | 81,0919   | disp H    | 0,0086    |           |           |           |
| media V      | 100,8769  | disp V    | 0,0019    |           |           |           |

### A4.3. Datos recogidos con la Estación Total

| ID   | H        | V       | Hdist  | Sdist  | Vdist |
|------|----------|---------|--------|--------|-------|
| REFE | 23.78166 | 89.6268 | -      | -      | -     |
| -    | 23.8080  | 89.6388 | -      | -      | -     |
| -    | 23.7816  | 89.6278 | -      | -      | -     |
| C6   | 327.3046 | 97.1576 | 17.383 | 17.401 | 0.777 |
| -    | 327.1908 | 97.1576 | 17.399 | 17.416 | 0.777 |
| -    | 327.2762 | 97.1504 | 17.358 | 17.376 | 0.778 |
| C7   | 373.0160 | 96.0232 | 13.627 | 13.654 | 0.853 |
| -    | 373.0054 | 96.0224 | 13.623 | 13.650 | 0.852 |
| -    | 373.0906 | 96.0222 | 13.627 | 13.654 | 0.853 |
| C8   | 13.6862  | 97.1054 | 20.701 | 20.722 | 0.942 |
| -    | 13.6632  | 97.0986 | 20.685 | 20.706 | 0.943 |
| -    | 13.6634  | 97.0984 | 20.687 | 20.708 | 0.944 |
| C1   | 63.1650  | 97.8088 | 9.902  | 9.908  | 0.341 |
| -    | 63.2888  | 97.8070 | 9.873  | 9.879  | 0.340 |
| -    | 63.4380  | 97.8068 | 9.850  | 9.856  | 0.339 |
| C4   | 163.5316 | 99.8416 | -      | -      | -     |
| -    | 163.5818 | 99.8464 | -      | -      | -     |
| -    | 163.4008 | 99.8466 | -      | -      | -     |
| C5   | 252.6704 | 99.2790 | 18.439 | 18.440 | 0.209 |
| -    | 252.7284 | 99.2784 | 18.435 | 18.436 | 0.209 |
| -    | 252.6564 | 99.2780 | 18.465 | 18.466 | 0.209 |



#### A4.4. Resultado de la corrección PPP GPS Monofrecuencia

Results of your CSRS-PPP processing can be downloaded by clicking on the following link:

[http://webapp.csrns.nrcan.gc.ca/ppp\\_data/20080901\\_0014\\_00012141/20080901\\_0014\\_00012141\\_full](http://webapp.csrns.nrcan.gc.ca/ppp_data/20080901_0014_00012141/20080901_0014_00012141_full)

URL to PDF summary file:

[http://webapp.csrns.nrcan.gc.ca/ppp\\_data/20080901\\_0014\\_00012141/00012141.pdf](http://webapp.csrns.nrcan.gc.ca/ppp_data/20080901_0014_00012141/00012141.pdf)

URL to file of observations residual and satellites azimuth and elevation:

[http://webapp.csrns.nrcan.gc.ca/ppp\\_data/20080901\\_0014\\_00012141/00012141\\_res.zip](http://webapp.csrns.nrcan.gc.ca/ppp_data/20080901_0014_00012141/00012141_res.zip)

GPS Orbits & Clocks Used: IGS Final

The estimated coordinates / standard deviations for the 00012141.08O RINEX file are as follow:

Latitude (ITRF05): 40 26 50.6628 (dms) / 0.149 (m)

Longitude (ITRF05): -3 43 31.5043 (dms) / 0.102 (m)

Ellipsoidal Height (ITRF05): 689.897 (m) / 0.265 (m)

Orthometric Height CGVD28 (HTv2.0): \_NOT\_DEFINED\_

Software Version: 1.04 1087

If you have any questions, please feel free to contact:

Geodetic Survey Division

Canada Centre for Remote Sensing

Natural Resources Canada

Government of Canada

615 Booth Street, Room 440

Ottawa, Ontario K1A 0E9

Phone: 613-995-4410 FAX: 613-995-3215

EMail: [information@geod.nrcan.gc.ca](mailto:information@geod.nrcan.gc.ca)

Natural Resources Canada does not assume any liability deemed to have been caused directly or indirectly by any content of its PPP-On-Line positioning service.

**CSRS-PPP**

(Processing Software Version: 1.04 1087 )

**Processing Summary for 00012141.08O**

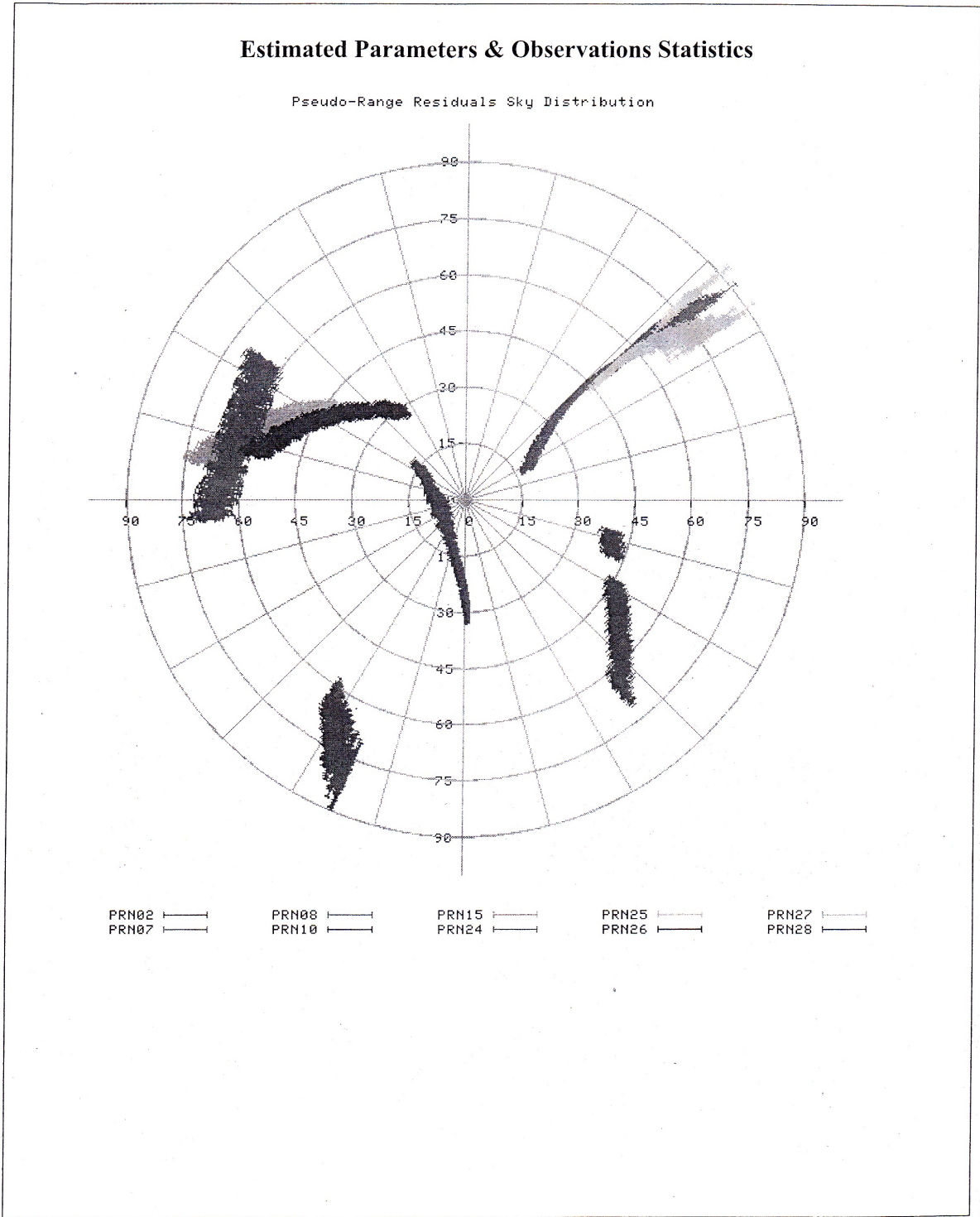
|                                    |                        |                          |
|------------------------------------|------------------------|--------------------------|
| <b>Data Start</b>                  | <b>Data End</b>        |                          |
| 2008-08-01 08:46:40.00             | 2008-08-01 10:11:50.00 |                          |
| <b>Apri / Aposteriori Code Std</b> |                        |                          |
| 1.0m / 1.803m                      |                        |                          |
| <b>Observations</b>                | <b>Frequency</b>       | <b>Mode</b>              |
| Code                               | L1                     | Static                   |
| <b>Elevation Cut-Off</b>           | <b>Rejected Epochs</b> | <b>Estimation Step</b>   |
| 10.000 degrees                     | 0.00 %                 | Same as Input RINEX File |
| <b>Antenna Model</b>               | <b>APC to ARP</b>      | <b>ARP to Marker</b>     |
|                                    | Ant. not in PPP (0 m)  | 0.000 m                  |

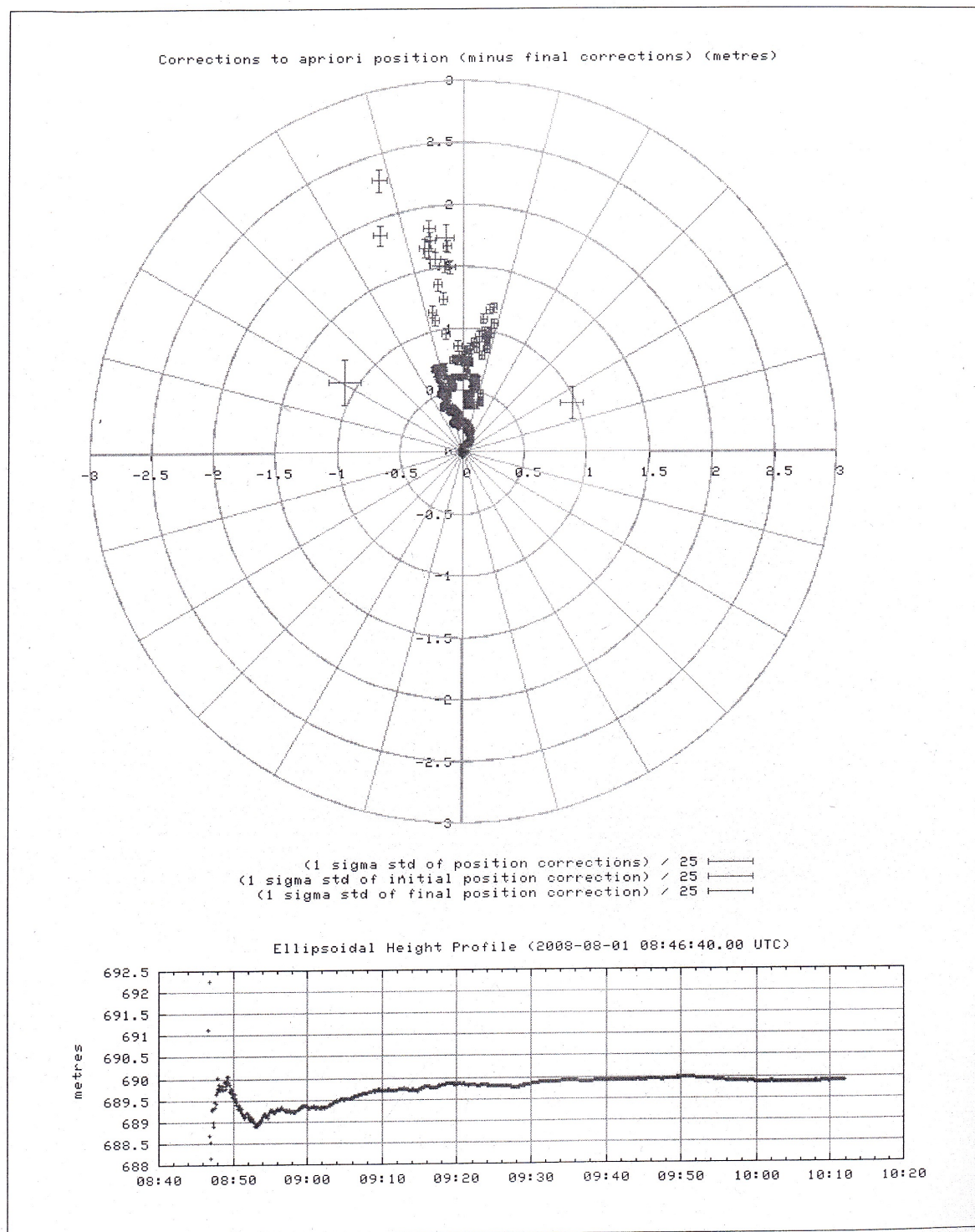
(APC = antenna phase center; ARP = antenna reference point)

**Estimated Position for 00012141.08O**

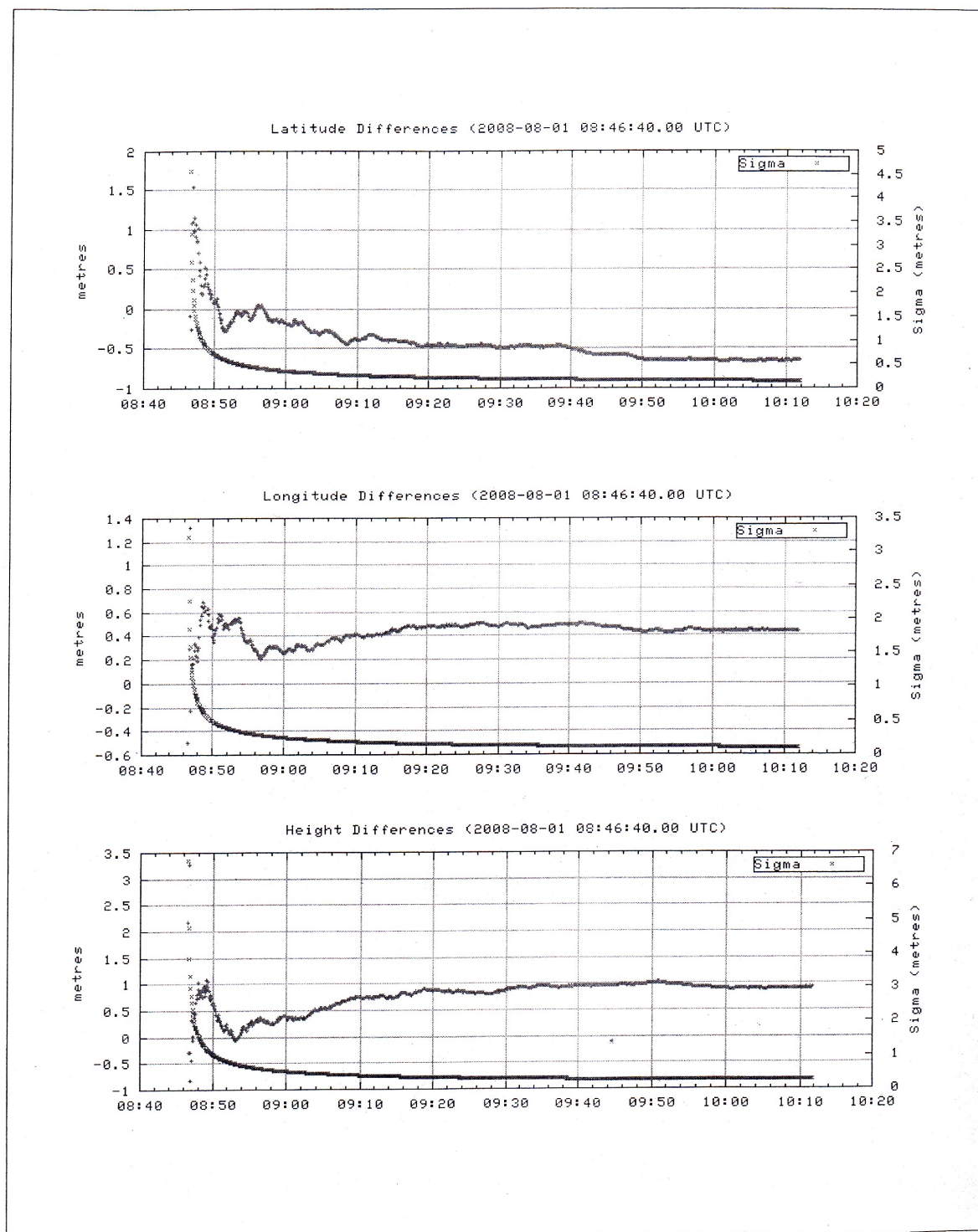
|   | <b>Latitude (+n)</b> | <b>Longitude (+e)</b>               | <b>Ell. Height</b> |
|---|----------------------|-------------------------------------|--------------------|
|   | <b>(dms)</b>         | <b>(dms)</b>                        | <b>(m)</b>         |
| <b>ITRF05</b>                             | 40 26 50.6628        | -3 43 31.5043                       | 689.897            |
| <b>Sigmas</b>                             | 0.149                | 0.102                               | 0.265              |
| <b>Apriori</b>                            | 40 26 50.684         | -3 43 31.523                        | 688.971            |
| <b>Estimated - Apriori</b>                | -0.644 m             | 0.436 m                             | 0.925 m            |
| <b>Orthometric Height CGVD28 (HTv2.0)</b> | _NOT_DEFINED_        | (click here for model and accuracy) |                    |

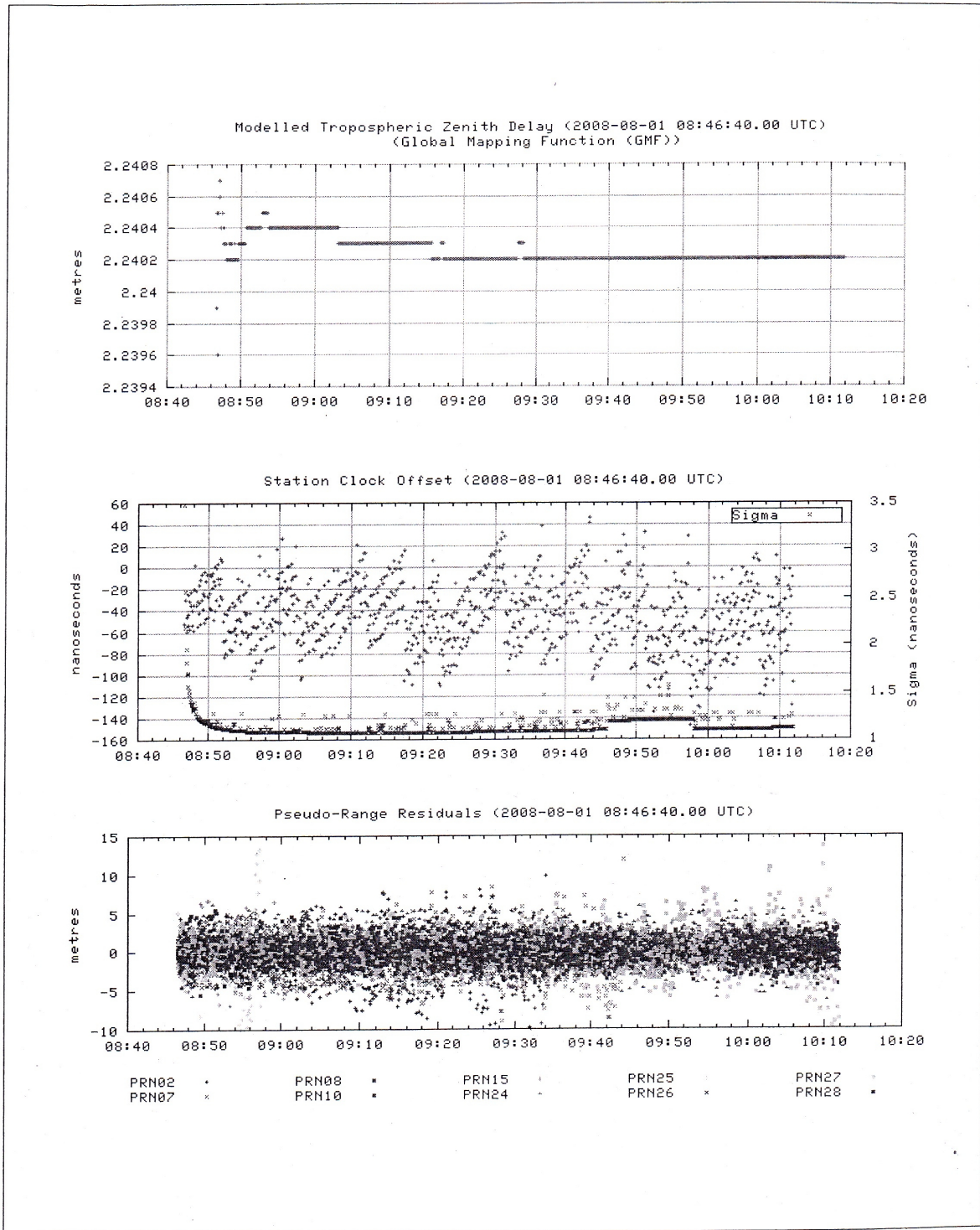
(Coordinates from RINEX file used as apriori position)











~~~ Disclaimer ~~~

Natural Resources Canada does not assume any liability deemed to have been caused directly or indirectly by any content of its PPP-On-Line positioning service.

If you have any questions, please feel free to contact:

Geodetic Survey Division  
Canada Centre for Remote Sensing  
Natural Resources Canada  
Government of Canada  
615 Booth Street, Room 440  
Ottawa, Ontario K1A 0E9  
Phone: 613-995-4410 FAX: 613-995-3215  
EMail: [information@geod.nrcan.gc.ca](mailto:information@geod.nrcan.gc.ca)



Natural Resources  
Canada

Ressources naturelles  
Canada

Canada



### A4.5. Datos recogidos con el receptor GPS Bifrecuencia

| PUNTO       | X          | Y           | Z          | CQ 3D  |
|-------------|------------|-------------|------------|--------|
| <b>BOTA</b> |            |             |            |        |
| 1000        | 4850879,68 | -315853,418 | 4116364,42 | 0,0115 |
| 1000        | 4850879,68 | -315853,418 | 4116364,42 | 0,0115 |
| 1000 (2)    | 4850879,68 | -315853,418 | 4116364,42 | 0,0115 |
| 1000 (2)    | 4850879,68 | -315853,418 | 4116364,42 | 0,0115 |
| 1001        | 4850879,68 | -315853,416 | 4116364,42 | 0,0097 |
| 1001        | 4850879,68 | -315853,416 | 4116364,42 | 0,0097 |
| 1001 (2)    | 4850879,68 | -315853,416 | 4116364,42 | 0,0097 |
| 1001 (2)    | 4850879,68 | -315853,416 | 4116364,42 | 0,0097 |
| 1002        | 4850879,68 | -315853,417 | 4116364,42 | 0,0118 |
| 1002        | 4850879,68 | -315853,417 | 4116364,42 | 0,0118 |
| 1002 (2)    | 4850879,68 | -315853,417 | 4116364,42 | 0,0118 |
| 1002 (2)    | 4850879,68 | -315853,417 | 4116364,42 | 0,0118 |
| 1003        | 4850879,68 | -315853,416 | 4116364,42 | 0,0101 |
| 1003        | 4850879,68 | -315853,416 | 4116364,42 | 0,0101 |
| 1003 (2)    | 4850879,68 | -315853,416 | 4116364,42 | 0,0101 |
| 1003 (2)    | 4850879,68 | -315853,416 | 4116364,42 | 0,0101 |
| 1004        | 4850879,68 | -315853,416 | 4116364,41 | 0,0106 |
| 1004        | 4850879,68 | -315853,416 | 4116364,41 | 0,0106 |
| 1004 (2)    | 4850879,68 | -315853,416 | 4116364,41 | 0,0106 |
| 1004 (2)    | 4850879,68 | -315853,416 | 4116364,41 | 0,0106 |
| 1005        | 4850879,68 | -315853,418 | 4116364,42 | 0,0099 |
| 1005        | 4850879,68 | -315853,418 | 4116364,42 | 0,0099 |
| 1005 (2)    | 4850879,68 | -315853,418 | 4116364,42 | 0,0099 |
| 1005 (2)    | 4850879,68 | -315853,418 | 4116364,42 | 0,0099 |
| 1006        | 4850879,68 | -315853,418 | 4116364,42 | 0,0117 |
| 1006        | 4850879,68 | -315853,418 | 4116364,42 | 0,0117 |
| 1006 (2)    | 4850879,68 | -315853,418 | 4116364,42 | 0,0117 |
| 1006 (2)    | 4850879,68 | -315853,418 | 4116364,42 | 0,0117 |
| 1007        | 4850879,68 | -315853,418 | 4116364,42 | 0,0114 |
| 1007        | 4850879,68 | -315853,418 | 4116364,42 | 0,0114 |
| 1007 (2)    | 4850879,68 | -315853,418 | 4116364,42 | 0,0114 |
| 1007 (2)    | 4850879,68 | -315853,418 | 4116364,42 | 0,0114 |
| 1008        | 4850879,68 | -315853,418 | 4116364,42 | 0,0113 |
| 1008        | 4850879,68 | -315853,418 | 4116364,42 | 0,0113 |
| 1008 (2)    | 4850879,68 | -315853,418 | 4116364,42 | 0,0113 |
| 1008 (2)    | 4850879,68 | -315853,418 | 4116364,42 | 0,0113 |
| 1009        | 4850879,69 | -315853,418 | 4116364,42 | 0,0125 |
| 1009        | 4850879,69 | -315853,418 | 4116364,42 | 0,0125 |
| 1009 (2)    | 4850879,69 | -315853,418 | 4116364,42 | 0,0125 |
| 1009 (2)    | 4850879,69 | -315853,418 | 4116364,42 | 0,0125 |
| 1010        | 4850879,69 | -315853,418 | 4116364,42 | 0,0122 |
| 1010        | 4850879,69 | -315853,418 | 4116364,42 | 0,0122 |
| 1010 (2)    | 4850879,69 | -315853,418 | 4116364,42 | 0,0122 |
| 1010 (2)    | 4850879,69 | -315853,418 | 4116364,42 | 0,0122 |
| 1100        | 4850872,21 | -315853,545 | 4116370,91 | 0,0157 |
| 1100        | 4850872,21 | -315853,545 | 4116370,91 | 0,0157 |
| <b>C1</b>   |            |             |            |        |
| 1100 (2)    | 4850872,21 | -315853,545 | 4116370,91 | 0,0157 |
| 1100 (2)    | 4850872,21 | -315853,545 | 4116370,91 | 0,0157 |
| 1101        | 4850872,22 | -315853,542 | 4116370,91 | 0,0157 |
| 1101        | 4850872,22 | -315853,542 | 4116370,91 | 0,0157 |
| 1101 (2)    | 4850872,22 | -315853,542 | 4116370,91 | 0,0157 |
| 1101 (2)    | 4850872,22 | -315853,542 | 4116370,91 | 0,0157 |
| 1102        | 4850872,22 | -315853,544 | 4116370,91 | 0,0135 |



|             |            |             |            |        |
|-------------|------------|-------------|------------|--------|
| 1102        | 4850872,22 | -315853,544 | 4116370,91 | 0,0135 |
| 1102 (2)    | 4850872,22 | -315853,544 | 4116370,91 | 0,0135 |
| 1102 (2)    | 4850872,22 | -315853,544 | 4116370,91 | 0,0135 |
| 1103        | 4850872,22 | -315853,546 | 4116370,91 | 0,0145 |
| 1103        | 4850872,22 | -315853,546 | 4116370,91 | 0,0145 |
| 1103 (2)    | 4850872,22 | -315853,546 | 4116370,91 | 0,0145 |
| 1103 (2)    | 4850872,22 | -315853,546 | 4116370,91 | 0,0145 |
| 1104        | 4850872,22 | -315853,546 | 4116370,91 | 0,0145 |
| 1104        | 4850872,22 | -315853,546 | 4116370,91 | 0,0145 |
| 1104 (2)    | 4850872,22 | -315853,546 | 4116370,91 | 0,0145 |
| 1104 (2)    | 4850872,22 | -315853,546 | 4116370,91 | 0,0145 |
| 1105        | 4850872,22 | -315853,546 | 4116370,91 | 0,014  |
| 1105        | 4850872,22 | -315853,546 | 4116370,91 | 0,014  |
| 1105 (2)    | 4850872,22 | -315853,546 | 4116370,91 | 0,014  |
| 1105 (2)    | 4850872,22 | -315853,546 | 4116370,91 | 0,014  |
| 1106        | 4850872,22 | -315853,547 | 4116370,91 | 0,0141 |
| 1106        | 4850872,22 | -315853,547 | 4116370,91 | 0,0141 |
| 1106 (2)    | 4850872,22 | -315853,547 | 4116370,91 | 0,0141 |
| 1106 (2)    | 4850872,22 | -315853,547 | 4116370,91 | 0,0141 |
| 1107        | 4850872,22 | -315853,548 | 4116370,92 | 0,0138 |
| 1107        | 4850872,22 | -315853,548 | 4116370,92 | 0,0138 |
| 1107 (2)    | 4850872,22 | -315853,548 | 4116370,92 | 0,0138 |
| 1107 (2)    | 4850872,22 | -315853,548 | 4116370,92 | 0,0138 |
| 1108        | 4850872,22 | -315853,549 | 4116370,92 | 0,0135 |
| 1108        | 4850872,22 | -315853,549 | 4116370,92 | 0,0135 |
| 1108 (2)    | 4850872,22 | -315853,549 | 4116370,92 | 0,0135 |
| 1108 (2)    | 4850872,22 | -315853,549 | 4116370,92 | 0,0135 |
| 1109        | 4850872,22 | -315853,547 | 4116370,91 | 0,0148 |
| 1109        | 4850872,22 | -315853,547 | 4116370,91 | 0,0148 |
| 1109 (2)    | 4850872,22 | -315853,547 | 4116370,91 | 0,0148 |
| 1109 (2)    | 4850872,22 | -315853,547 | 4116370,91 | 0,0148 |
| 1110        | 4850872,22 | -315853,548 | 4116370,91 | 0,0127 |
| 1110        | 4850872,22 | -315853,548 | 4116370,91 | 0,0127 |
| 1110 (2)    | 4850872,22 | -315853,548 | 4116370,91 | 0,0127 |
| 1110 (2)    | 4850872,22 | -315853,548 | 4116370,91 | 0,0127 |
| <b>BOTA</b> |            |             |            |        |
| 2000        | 4850879,82 | -315853,424 | 4116364,53 | 0,0134 |
| 2000        | 4850879,82 | -315853,424 | 4116364,53 | 0,0134 |
| 2000 (2)    | 4850879,82 | -315853,424 | 4116364,53 | 0,0134 |
| 2000 (2)    | 4850879,82 | -315853,424 | 4116364,53 | 0,0134 |
| 2001        | 4850879,81 | -315853,423 | 4116364,52 | 0,0165 |
| 2001        | 4850879,81 | -315853,423 | 4116364,52 | 0,0165 |
| 2001 (2)    | 4850879,81 | -315853,423 | 4116364,52 | 0,0165 |
| 2001 (2)    | 4850879,81 | -315853,423 | 4116364,52 | 0,0165 |
| 2002        | 4850879,8  | -315853,423 | 4116364,52 | 0,0163 |
| 2002        | 4850879,8  | -315853,423 | 4116364,52 | 0,0163 |
| 2002 (2)    | 4850879,8  | -315853,423 | 4116364,52 | 0,0163 |
| 2002 (2)    | 4850879,8  | -315853,423 | 4116364,52 | 0,0163 |
| 2003        | 4850879,81 | -315853,423 | 4116364,52 | 0,0148 |
| 2003        | 4850879,81 | -315853,423 | 4116364,52 | 0,0148 |
| 2003 (2)    | 4850879,81 | -315853,423 | 4116364,52 | 0,0148 |
| 2003 (2)    | 4850879,81 | -315853,423 | 4116364,52 | 0,0148 |
| 2004        | 4850879,81 | -315853,422 | 4116364,52 | 0,0141 |
| 2004        | 4850879,81 | -315853,422 | 4116364,52 | 0,0141 |
| 2004 (2)    | 4850879,81 | -315853,422 | 4116364,52 | 0,0141 |
| 2004 (2)    | 4850879,81 | -315853,422 | 4116364,52 | 0,0141 |



|           |            |             |            |        |
|-----------|------------|-------------|------------|--------|
| 2005      | 4850879,8  | -315853,424 | 4116364,52 | 0,0154 |
| 2005      | 4850879,8  | -315853,424 | 4116364,52 | 0,0154 |
| 2005 (2)  | 4850879,8  | -315853,424 | 4116364,52 | 0,0154 |
| 2005 (2)  | 4850879,8  | -315853,424 | 4116364,52 | 0,0154 |
| 2006      | 4850879,8  | -315853,421 | 4116364,52 | 0,0139 |
| 2006      | 4850879,8  | -315853,421 | 4116364,52 | 0,0139 |
| 2006 (2)  | 4850879,8  | -315853,421 | 4116364,52 | 0,0139 |
| 2006 (2)  | 4850879,8  | -315853,421 | 4116364,52 | 0,0139 |
| 2007      | 4850879,82 | -315853,426 | 4116364,54 | 0,0118 |
| 2007      | 4850879,82 | -315853,426 | 4116364,54 | 0,0118 |
| 2007 (2)  | 4850879,82 | -315853,426 | 4116364,54 | 0,0118 |
| 2007 (2)  | 4850879,82 | -315853,426 | 4116364,54 | 0,0118 |
| 2008      | 4850879,81 | -315853,425 | 4116364,53 | 0,0105 |
| 2008      | 4850879,81 | -315853,425 | 4116364,53 | 0,0105 |
| 2008 (2)  | 4850879,81 | -315853,425 | 4116364,53 | 0,0105 |
| 2008 (2)  | 4850879,81 | -315853,425 | 4116364,53 | 0,0105 |
| 2009      | 4850879,81 | -315853,425 | 4116364,53 | 0,0109 |
| 2009      | 4850879,81 | -315853,425 | 4116364,53 | 0,0109 |
| 2009 (2)  | 4850879,81 | -315853,425 | 4116364,53 | 0,0109 |
| 2009 (2)  | 4850879,81 | -315853,425 | 4116364,53 | 0,0109 |
| 2010      | 4850879,81 | -315853,426 | 4116364,53 | 0,0108 |
| 2010      | 4850879,81 | -315853,426 | 4116364,53 | 0,0108 |
| 2010 (2)  | 4850879,81 | -315853,426 | 4116364,53 | 0,0108 |
| 2010 (2)  | 4850879,81 | -315853,426 | 4116364,53 | 0,0108 |
| 2011      | 4850879,82 | -315853,426 | 4116364,54 | 0,0106 |
| 2011      | 4850879,82 | -315853,426 | 4116364,54 | 0,0106 |
| 2011 (2)  | 4850879,82 | -315853,426 | 4116364,54 | 0,0106 |
| 2011 (2)  | 4850879,82 | -315853,426 | 4116364,54 | 0,0106 |
| <b>C2</b> |            |             |            |        |
| 2100      | 4850868,6  | -315849,265 | 4116375,19 | 0,0146 |
| 2100      | 4850868,6  | -315849,265 | 4116375,19 | 0,0146 |
| 2100 (2)  | 4850868,6  | -315849,265 | 4116375,19 | 0,0146 |
| 2100 (2)  | 4850868,6  | -315849,265 | 4116375,19 | 0,0146 |
| 2101      | 4850868,6  | -315849,26  | 4116375,19 | 0,0155 |
| 2101      | 4850868,6  | -315849,26  | 4116375,19 | 0,0155 |
| 2101 (2)  | 4850868,6  | -315849,26  | 4116375,19 | 0,0155 |
| 2101 (2)  | 4850868,6  | -315849,26  | 4116375,19 | 0,0155 |
| 2102      | 4850868,61 | -315849,272 | 4116375,2  | 0,0349 |
| 2102      | 4850868,61 | -315849,272 | 4116375,2  | 0,0349 |
| 2102 (2)  | 4850868,61 | -315849,272 | 4116375,2  | 0,0349 |
| 2102 (2)  | 4850868,61 | -315849,272 | 4116375,2  | 0,0349 |
| 2103      | 4850868,6  | -315849,263 | 4116375,19 | 0,012  |
| 2103      | 4850868,6  | -315849,263 | 4116375,19 | 0,012  |
| 2103 (2)  | 4850868,6  | -315849,263 | 4116375,19 | 0,012  |
| 2103 (2)  | 4850868,6  | -315849,263 | 4116375,19 | 0,012  |
| 2104      | 4850868,6  | -315849,26  | 4116375,19 | 0,0158 |
| 2104      | 4850868,6  | -315849,26  | 4116375,19 | 0,0158 |
| 2104 (2)  | 4850868,6  | -315849,26  | 4116375,19 | 0,0158 |
| 2104 (2)  | 4850868,6  | -315849,26  | 4116375,19 | 0,0158 |
| 2105      | 4850868,59 | -315849,261 | 4116375,19 | 0,0152 |
| 2105      | 4850868,59 | -315849,261 | 4116375,19 | 0,0152 |
| 2105 (2)  | 4850868,59 | -315849,261 | 4116375,19 | 0,0152 |
| 2105 (2)  | 4850868,59 | -315849,261 | 4116375,19 | 0,0152 |
| 2106      | 4850868,6  | -315849,264 | 4116375,19 | 0,014  |
| 2106      | 4850868,6  | -315849,264 | 4116375,19 | 0,014  |
| 2106 (2)  | 4850868,6  | -315849,264 | 4116375,19 | 0,014  |



|             |            |             |            |        |
|-------------|------------|-------------|------------|--------|
| 2106 (2)    | 4850868,6  | -315849,264 | 4116375,19 | 0,014  |
| 2107        | 4850868,6  | -315849,261 | 4116375,19 | 0,0151 |
| 2107        | 4850868,6  | -315849,261 | 4116375,19 | 0,0151 |
| 2107 (2)    | 4850868,6  | -315849,261 | 4116375,19 | 0,0151 |
| 2107 (2)    | 4850868,6  | -315849,261 | 4116375,19 | 0,0151 |
| 2108        | 4850868,59 | -315849,263 | 4116375,18 | 0,0156 |
| 2108        | 4850868,59 | -315849,263 | 4116375,18 | 0,0156 |
| 2108 (2)    | 4850868,59 | -315849,263 | 4116375,18 | 0,0156 |
| 2108 (2)    | 4850868,59 | -315849,263 | 4116375,18 | 0,0156 |
| 2109        | 4850868,6  | -315849,263 | 4116375,19 | 0,0167 |
| 2109        | 4850868,6  | -315849,263 | 4116375,19 | 0,0167 |
| 2109 (2)    | 4850868,6  | -315849,263 | 4116375,19 | 0,0167 |
| 2109 (2)    | 4850868,6  | -315849,263 | 4116375,19 | 0,0167 |
| 2110        | 4850868,59 | -315849,26  | 4116375,18 | 0,0162 |
| 2110        | 4850868,59 | -315849,26  | 4116375,18 | 0,0162 |
| 2110 (2)    | 4850868,59 | -315849,26  | 4116375,18 | 0,0162 |
| 2110 (2)    | 4850868,59 | -315849,26  | 4116375,18 | 0,0162 |
| <b>BOTA</b> |            |             |            |        |
| 2200        | 4850879,81 | -315853,425 | 4116364,52 | 0,0157 |
| 2200        | 4850879,81 | -315853,425 | 4116364,52 | 0,0157 |
| 2200 (2)    | 4850879,81 | -315853,425 | 4116364,52 | 0,0157 |
| 2200 (2)    | 4850879,81 | -315853,425 | 4116364,52 | 0,0157 |
| 2201        | 4850879,81 | -315853,426 | 4116364,52 | 0,0169 |
| 2201        | 4850879,81 | -315853,426 | 4116364,52 | 0,0169 |
| 2201 (2)    | 4850879,81 | -315853,426 | 4116364,52 | 0,0169 |
| 2201 (2)    | 4850879,81 | -315853,426 | 4116364,52 | 0,0169 |
| 2202        | 4850879,81 | -315853,423 | 4116364,52 | 0,0153 |
| 2202        | 4850879,81 | -315853,423 | 4116364,52 | 0,0153 |
| 2202 (2)    | 4850879,81 | -315853,423 | 4116364,52 | 0,0153 |
| 2202 (2)    | 4850879,81 | -315853,423 | 4116364,52 | 0,0153 |
| 2203        | 4850879,81 | -315853,425 | 4116364,52 | 0,0156 |
| 2203        | 4850879,81 | -315853,425 | 4116364,52 | 0,0156 |
| 2203 (2)    | 4850879,81 | -315853,425 | 4116364,52 | 0,0156 |
| 2203 (2)    | 4850879,81 | -315853,425 | 4116364,52 | 0,0156 |
| 2204        | 4850879,81 | -315853,426 | 4116364,52 | 0,0154 |
| 2204        | 4850879,81 | -315853,426 | 4116364,52 | 0,0154 |
| 2204 (2)    | 4850879,81 | -315853,426 | 4116364,52 | 0,0154 |
| 2204 (2)    | 4850879,81 | -315853,426 | 4116364,52 | 0,0154 |
| 2205        | 4850879,81 | -315853,425 | 4116364,52 | 0,0153 |
| 2205        | 4850879,81 | -315853,425 | 4116364,52 | 0,0153 |
| 2205 (2)    | 4850879,81 | -315853,425 | 4116364,52 | 0,0153 |
| 2205 (2)    | 4850879,81 | -315853,425 | 4116364,52 | 0,0153 |
| 2206        | 4850879,81 | -315853,427 | 4116364,52 | 0,0163 |
| 2206        | 4850879,81 | -315853,427 | 4116364,52 | 0,0163 |
| 2206 (2)    | 4850879,81 | -315853,427 | 4116364,52 | 0,0163 |
| 2206 (2)    | 4850879,81 | -315853,427 | 4116364,52 | 0,0163 |
| 2207        | 4850879,81 | -315853,426 | 4116364,52 | 0,0167 |
| 2207        | 4850879,81 | -315853,426 | 4116364,52 | 0,0167 |
| 2207 (2)    | 4850879,81 | -315853,426 | 4116364,52 | 0,0167 |
| 2207 (2)    | 4850879,81 | -315853,426 | 4116364,52 | 0,0167 |
| 2208        | 4850879,81 | -315853,426 | 4116364,52 | 0,0147 |
| 2208        | 4850879,81 | -315853,426 | 4116364,52 | 0,0147 |
| 2208 (2)    | 4850879,81 | -315853,426 | 4116364,52 | 0,0147 |
| 2208 (2)    | 4850879,81 | -315853,426 | 4116364,52 | 0,0147 |
| 2209        | 4850879,81 | -315853,426 | 4116364,52 | 0,0156 |
| 2209        | 4850879,81 | -315853,426 | 4116364,52 | 0,0156 |



|           |            |             |            |        |
|-----------|------------|-------------|------------|--------|
| 2209 (2)  | 4850879,81 | -315853,426 | 4116364,52 | 0,0156 |
| 2209 (2)  | 4850879,81 | -315853,426 | 4116364,52 | 0,0156 |
| 2210      | 4850879,81 | -315853,427 | 4116364,52 | 0,0138 |
| 2210      | 4850879,81 | -315853,427 | 4116364,52 | 0,0138 |
| 2210 (2)  | 4850879,81 | -315853,427 | 4116364,52 | 0,0138 |
| 2210 (2)  | 4850879,81 | -315853,427 | 4116364,52 | 0,0138 |
| <b>C3</b> |            |             |            |        |
| 3100      | 4850868,47 | -315844,776 | 4116375,49 | 0,0337 |
| 3100      | 4850868,47 | -315844,776 | 4116375,49 | 0,0337 |
| 3100 (2)  | 4850868,47 | -315844,776 | 4116375,49 | 0,0337 |
| 3100 (2)  | 4850868,47 | -315844,776 | 4116375,49 | 0,0337 |
| 3101      | 4850868,47 | -315844,777 | 4116375,49 | 0,0333 |
| 3101      | 4850868,47 | -315844,777 | 4116375,49 | 0,0333 |
| 3101 (2)  | 4850868,47 | -315844,777 | 4116375,49 | 0,0333 |
| 3101 (2)  | 4850868,47 | -315844,777 | 4116375,49 | 0,0333 |
| 3102      | 4850868,47 | -315844,774 | 4116375,49 | 0,0329 |
| 3102      | 4850868,47 | -315844,774 | 4116375,49 | 0,0329 |
| 3102 (2)  | 4850868,47 | -315844,774 | 4116375,49 | 0,0329 |
| 3102 (2)  | 4850868,47 | -315844,774 | 4116375,49 | 0,0329 |
| 3103      | 4850868,47 | -315844,776 | 4116375,49 | 0,0356 |
| 3103      | 4850868,47 | -315844,776 | 4116375,49 | 0,0356 |
| 3103 (2)  | 4850868,47 | -315844,776 | 4116375,49 | 0,0356 |
| 3103 (2)  | 4850868,47 | -315844,776 | 4116375,49 | 0,0356 |
| 3104      | 4850868,47 | -315844,777 | 4116375,49 | 0,034  |
| 3104      | 4850868,47 | -315844,777 | 4116375,49 | 0,034  |
| 3104 (2)  | 4850868,47 | -315844,777 | 4116375,49 | 0,034  |
| 3104 (2)  | 4850868,47 | -315844,777 | 4116375,49 | 0,034  |
| 3105      | 4850868,47 | -315844,777 | 4116375,49 | 0,0344 |
| 3105      | 4850868,47 | -315844,777 | 4116375,49 | 0,0344 |
| 3105 (2)  | 4850868,47 | -315844,777 | 4116375,49 | 0,0344 |
| 3105 (2)  | 4850868,47 | -315844,777 | 4116375,49 | 0,0344 |
| 3106      | 4850868,47 | -315844,777 | 4116375,49 | 0,0347 |
| 3106      | 4850868,47 | -315844,777 | 4116375,49 | 0,0347 |
| 3106 (2)  | 4850868,47 | -315844,777 | 4116375,49 | 0,0347 |
| 3106 (2)  | 4850868,47 | -315844,777 | 4116375,49 | 0,0347 |
| 3107      | 4850868,47 | -315844,778 | 4116375,5  | 0,0342 |
| 3107      | 4850868,47 | -315844,778 | 4116375,5  | 0,0342 |
| 3107 (2)  | 4850868,47 | -315844,778 | 4116375,5  | 0,0342 |
| 3107 (2)  | 4850868,47 | -315844,778 | 4116375,5  | 0,0342 |
| 3108      | 4850868,46 | -315844,773 | 4116375,49 | 0,0339 |
| 3108      | 4850868,46 | -315844,773 | 4116375,49 | 0,0339 |
| 3108 (2)  | 4850868,46 | -315844,773 | 4116375,49 | 0,0339 |
| 3108 (2)  | 4850868,46 | -315844,773 | 4116375,49 | 0,0339 |
| 3109      | 4850868,47 | -315844,775 | 4116375,5  | 0,0365 |
| 3109      | 4850868,47 | -315844,775 | 4116375,5  | 0,0365 |
| 3109 (2)  | 4850868,47 | -315844,775 | 4116375,5  | 0,0365 |
| 3109 (2)  | 4850868,47 | -315844,775 | 4116375,5  | 0,0365 |
| 3110      | 4850868,47 | -315844,774 | 4116375,5  | 0,0339 |
| 3110      | 4850868,47 | -315844,774 | 4116375,5  | 0,0339 |
| 3110 (2)  | 4850868,47 | -315844,774 | 4116375,5  | 0,0339 |
| 3110 (2)  | 4850868,47 | -315844,774 | 4116375,5  | 0,0339 |
| <b>C4</b> |            |             |            |        |
| 4100      | 4850878,56 | -315845,308 | 4116363,65 | 0,0195 |
| 4100      | 4850878,56 | -315845,308 | 4116363,65 | 0,0195 |
| 4100 (2)  | 4850878,56 | -315845,308 | 4116363,65 | 0,0195 |
| 4100 (2)  | 4850878,56 | -315845,308 | 4116363,65 | 0,0195 |



|           |            |             |            |        |
|-----------|------------|-------------|------------|--------|
| 4101      | 4850878,57 | -315845,316 | 4116363,66 | 0,0206 |
| 4101      | 4850878,57 | -315845,316 | 4116363,66 | 0,0206 |
| 4101 (2)  | 4850878,57 | -315845,316 | 4116363,66 | 0,0206 |
| 4101 (2)  | 4850878,57 | -315845,316 | 4116363,66 | 0,0206 |
| 4102      | 4850878,57 | -315845,314 | 4116363,66 | 0,0222 |
| 4102      | 4850878,57 | -315845,314 | 4116363,66 | 0,0222 |
| 4102 (2)  | 4850878,57 | -315845,314 | 4116363,66 | 0,0222 |
| 4102 (2)  | 4850878,57 | -315845,314 | 4116363,66 | 0,0222 |
| 4103      | 4850878,57 | -315845,311 | 4116363,65 | 0,0209 |
| 4103      | 4850878,57 | -315845,311 | 4116363,65 | 0,0209 |
| 4103 (2)  | 4850878,57 | -315845,311 | 4116363,65 | 0,0209 |
| 4103 (2)  | 4850878,57 | -315845,311 | 4116363,65 | 0,0209 |
| 4104      | 4850878,57 | -315845,31  | 4116363,65 | 0,021  |
| 4104      | 4850878,57 | -315845,31  | 4116363,65 | 0,021  |
| 4104 (2)  | 4850878,57 | -315845,31  | 4116363,65 | 0,021  |
| 4104 (2)  | 4850878,57 | -315845,31  | 4116363,65 | 0,021  |
| 4105      | 4850878,56 | -315845,303 | 4116363,65 | 0,0192 |
| 4105      | 4850878,56 | -315845,303 | 4116363,65 | 0,0192 |
| 4105 (2)  | 4850878,56 | -315845,303 | 4116363,65 | 0,0192 |
| 4105 (2)  | 4850878,56 | -315845,303 | 4116363,65 | 0,0192 |
| 4106      | 4850878,56 | -315845,308 | 4116363,65 | 0,0179 |
| 4106      | 4850878,56 | -315845,308 | 4116363,65 | 0,0179 |
| 4106 (2)  | 4850878,56 | -315845,308 | 4116363,65 | 0,0179 |
| 4106 (2)  | 4850878,56 | -315845,308 | 4116363,65 | 0,0179 |
| 4107      | 4850878,55 | -315845,301 | 4116363,65 | 0,0148 |
| 4107      | 4850878,55 | -315845,301 | 4116363,65 | 0,0148 |
| 4107 (2)  | 4850878,55 | -315845,301 | 4116363,65 | 0,0148 |
| 4107 (2)  | 4850878,55 | -315845,301 | 4116363,65 | 0,0148 |
| 4108      | 4850878,55 | -315845,302 | 4116363,65 | 0,0158 |
| 4108      | 4850878,55 | -315845,302 | 4116363,65 | 0,0158 |
| 4108 (2)  | 4850878,55 | -315845,302 | 4116363,65 | 0,0158 |
| 4108 (2)  | 4850878,55 | -315845,302 | 4116363,65 | 0,0158 |
| 4109      | 4850878,55 | -315845,303 | 4116363,65 | 0,0173 |
| 4109      | 4850878,55 | -315845,303 | 4116363,65 | 0,0173 |
| 4109 (2)  | 4850878,55 | -315845,303 | 4116363,65 | 0,0173 |
| 4109 (2)  | 4850878,55 | -315845,303 | 4116363,65 | 0,0173 |
| 4110      | 4850878,52 | -315845,289 | 4116363,65 | 0,0153 |
| 4110      | 4850878,52 | -315845,289 | 4116363,65 | 0,0153 |
| 4110 (2)  | 4850878,52 | -315845,289 | 4116363,65 | 0,0153 |
| 4110 (2)  | 4850878,52 | -315845,289 | 4116363,65 | 0,0153 |
| <b>C5</b> |            |             |            |        |
| 5100      | 4850890,37 | -315849,823 | 4116349,71 | 0,012  |
| 5100      | 4850890,37 | -315849,823 | 4116349,71 | 0,012  |
| 5100 (2)  | 4850890,37 | -315849,823 | 4116349,71 | 0,012  |
| 5100 (2)  | 4850890,37 | -315849,823 | 4116349,71 | 0,012  |
| 5101      | 4850890,37 | -315849,824 | 4116349,72 | 0,014  |
| 5101      | 4850890,37 | -315849,824 | 4116349,72 | 0,014  |
| 5101 (2)  | 4850890,37 | -315849,824 | 4116349,72 | 0,014  |
| 5101 (2)  | 4850890,37 | -315849,824 | 4116349,72 | 0,014  |
| 5102      | 4850890,37 | -315849,823 | 4116349,72 | 0,0128 |
| 5102      | 4850890,37 | -315849,823 | 4116349,72 | 0,0128 |
| 5102 (2)  | 4850890,37 | -315849,823 | 4116349,72 | 0,0128 |
| 5102 (2)  | 4850890,37 | -315849,823 | 4116349,72 | 0,0128 |
| 5103      | 4850890,37 | -315849,825 | 4116349,71 | 0,0135 |
| 5103      | 4850890,37 | -315849,825 | 4116349,71 | 0,0135 |
| 5103 (2)  | 4850890,37 | -315849,825 | 4116349,71 | 0,0135 |

|          |            |             |            |        |
|----------|------------|-------------|------------|--------|
| 5103 (2) | 4850890,37 | -315849,825 | 4116349,71 | 0,0135 |
| 5104     | 4850890,37 | -315849,825 | 4116349,72 | 0,0119 |
| 5104     | 4850890,37 | -315849,825 | 4116349,72 | 0,0119 |
| 5104 (2) | 4850890,37 | -315849,825 | 4116349,72 | 0,0119 |
| 5104 (2) | 4850890,37 | -315849,825 | 4116349,72 | 0,0119 |
| 5105     | 4850890,37 | -315849,824 | 4116349,72 | 0,0122 |
| 5105     | 4850890,37 | -315849,824 | 4116349,72 | 0,0122 |
| 5105 (2) | 4850890,37 | -315849,824 | 4116349,72 | 0,0122 |
| 5105 (2) | 4850890,37 | -315849,824 | 4116349,72 | 0,0122 |
| 5106     | 4850890,37 | -315849,825 | 4116349,71 | 0,0125 |
| 5106     | 4850890,37 | -315849,825 | 4116349,71 | 0,0125 |
| 5106 (2) | 4850890,37 | -315849,825 | 4116349,71 | 0,0125 |
| 5106 (2) | 4850890,37 | -315849,825 | 4116349,71 | 0,0125 |
| 5107     | 4850890,37 | -315849,823 | 4116349,72 | 0,013  |
| 5107     | 4850890,37 | -315849,823 | 4116349,72 | 0,013  |
| 5107 (2) | 4850890,37 | -315849,823 | 4116349,72 | 0,013  |
| 5107 (2) | 4850890,37 | -315849,823 | 4116349,72 | 0,013  |
| 5108     | 4850890,37 | -315849,826 | 4116349,72 | 0,0122 |
| 5108     | 4850890,37 | -315849,826 | 4116349,72 | 0,0122 |
| 5108 (2) | 4850890,37 | -315849,826 | 4116349,72 | 0,0122 |
| 5108 (2) | 4850890,37 | -315849,826 | 4116349,72 | 0,0122 |
| 5109     | 4850890,37 | -315849,824 | 4116349,72 | 0,0121 |
| 5109     | 4850890,37 | -315849,824 | 4116349,72 | 0,0121 |
| 5109 (2) | 4850890,37 | -315849,824 | 4116349,72 | 0,0121 |
| 5109 (2) | 4850890,37 | -315849,824 | 4116349,72 | 0,0121 |
| 5110     | 4850890,37 | -315849,824 | 4116349,72 | 0,0116 |
| 5110     | 4850890,37 | -315849,824 | 4116349,72 | 0,0116 |
| 5110 (2) | 4850890,37 | -315849,824 | 4116349,72 | 0,0116 |
| 5110 (2) | 4850890,37 | -315849,824 | 4116349,72 | 0,0116 |



| BOTA     | LATITUD           | LONGITUD         | ALTURA   | CQ3D   |
|----------|-------------------|------------------|----------|--------|
| 1000     | 40 26 50,635402 N | 3 43 31,507085 W | 690,2998 | 0,0115 |
| 1000     | 40 26 50,635402 N | 3 43 31,507085 W | 690,2998 | 0,0115 |
| 1000 (2) | 40 26 50,635402 N | 3 43 31,507085 W | 690,2998 | 0,0115 |
| 1000 (2) | 40 26 50,635402 N | 3 43 31,507085 W | 690,2998 | 0,0115 |
| 1001     | 40 26 50,635366 N | 3 43 31,507010 W | 690,3018 | 0,0097 |
| 1001     | 40 26 50,635366 N | 3 43 31,507010 W | 690,3018 | 0,0097 |
| 1001 (2) | 40 26 50,635366 N | 3 43 31,507010 W | 690,3018 | 0,0097 |
| 1001 (2) | 40 26 50,635366 N | 3 43 31,507010 W | 690,3018 | 0,0097 |
| 1002     | 40 26 50,635460 N | 3 43 31,507080 W | 690,2969 | 0,0118 |
| 1002     | 40 26 50,635460 N | 3 43 31,507080 W | 690,2969 | 0,0118 |
| 1002 (2) | 40 26 50,635460 N | 3 43 31,507080 W | 690,2969 | 0,0118 |
| 1002 (2) | 40 26 50,635460 N | 3 43 31,507080 W | 690,2969 | 0,0118 |
| 1003     | 40 26 50,635296 N | 3 43 31,506991 W | 690,3017 | 0,0101 |
| 1003     | 40 26 50,635296 N | 3 43 31,506991 W | 690,3017 | 0,0101 |
| 1003 (2) | 40 26 50,635296 N | 3 43 31,506991 W | 690,3017 | 0,0101 |
| 1003 (2) | 40 26 50,635296 N | 3 43 31,506991 W | 690,3017 | 0,0101 |
| 1004     | 40 26 50,635314 N | 3 43 31,507013 W | 690,3002 | 0,0106 |
| 1004     | 40 26 50,635314 N | 3 43 31,507013 W | 690,3002 | 0,0106 |
| 1004 (2) | 40 26 50,635314 N | 3 43 31,507013 W | 690,3002 | 0,0106 |
| 1004 (2) | 40 26 50,635314 N | 3 43 31,507013 W | 690,3002 | 0,0106 |
| 1005     | 40 26 50,635376 N | 3 43 31,507090 W | 690,3022 | 0,0099 |
| 1005     | 40 26 50,635376 N | 3 43 31,507090 W | 690,3022 | 0,0099 |
| 1005 (2) | 40 26 50,635376 N | 3 43 31,507090 W | 690,3022 | 0,0099 |
| 1005 (2) | 40 26 50,635376 N | 3 43 31,507090 W | 690,3022 | 0,0099 |
| 1006     | 40 26 50,635483 N | 3 43 31,507094 W | 690,3026 | 0,0117 |
| 1006     | 40 26 50,635483 N | 3 43 31,507094 W | 690,3026 | 0,0117 |
| 1006 (2) | 40 26 50,635483 N | 3 43 31,507094 W | 690,3026 | 0,0117 |
| 1006 (2) | 40 26 50,635483 N | 3 43 31,507094 W | 690,3026 | 0,0117 |
| 1007     | 40 26 50,635466 N | 3 43 31,507107 W | 690,3029 | 0,0114 |
| 1007     | 40 26 50,635466 N | 3 43 31,507107 W | 690,3029 | 0,0114 |
| 1007 (2) | 40 26 50,635466 N | 3 43 31,507107 W | 690,3029 | 0,0114 |
| 1007 (2) | 40 26 50,635466 N | 3 43 31,507107 W | 690,3029 | 0,0114 |
| 1008     | 40 26 50,635384 N | 3 43 31,507084 W | 690,3036 | 0,0113 |
| 1008     | 40 26 50,635384 N | 3 43 31,507084 W | 690,3036 | 0,0113 |
| 1008 (2) | 40 26 50,635384 N | 3 43 31,507084 W | 690,3036 | 0,0113 |
| 1008 (2) | 40 26 50,635384 N | 3 43 31,507084 W | 690,3036 | 0,0113 |
| 1009     | 40 26 50,635288 N | 3 43 31,507088 W | 690,3058 | 0,0125 |
| 1009     | 40 26 50,635288 N | 3 43 31,507088 W | 690,3058 | 0,0125 |
| 1009 (2) | 40 26 50,635288 N | 3 43 31,507088 W | 690,3058 | 0,0125 |
| 1009 (2) | 40 26 50,635288 N | 3 43 31,507088 W | 690,3058 | 0,0125 |
| 1010     | 40 26 50,635259 N | 3 43 31,507097 W | 690,3056 | 0,0122 |
| 1010     | 40 26 50,635259 N | 3 43 31,507097 W | 690,3056 | 0,0122 |
| 1010 (2) | 40 26 50,635259 N | 3 43 31,507097 W | 690,3056 | 0,0122 |
| 1010 (2) | 40 26 50,635259 N | 3 43 31,507097 W | 690,3056 | 0,0122 |
| C1       |                   |                  |          |        |
| 1100     | 40 26 50,952014 N | 3 43 31,533064 W | 688,8477 | 0,0157 |
| 1100     | 40 26 50,952014 N | 3 43 31,533064 W | 688,8477 | 0,0157 |
| 1100 (2) | 40 26 50,952014 N | 3 43 31,533064 W | 688,8477 | 0,0157 |
| 1100 (2) | 40 26 50,952014 N | 3 43 31,533064 W | 688,8477 | 0,0157 |
| 1101     | 40 26 50,951922 N | 3 43 31,532905 W | 688,8482 | 0,0157 |
| 1101     | 40 26 50,951922 N | 3 43 31,532905 W | 688,8482 | 0,0157 |
| 1101 (2) | 40 26 50,951922 N | 3 43 31,532905 W | 688,8482 | 0,0157 |
| 1101 (2) | 40 26 50,951922 N | 3 43 31,532905 W | 688,8482 | 0,0157 |
| 1102     | 40 26 50,951962 N | 3 43 31,532970 W | 688,8584 | 0,0135 |
| 1102     | 40 26 50,951962 N | 3 43 31,532970 W | 688,8584 | 0,0135 |



|             |                   |                  |          |        |
|-------------|-------------------|------------------|----------|--------|
| 1102 (2)    | 40 26 50,951962 N | 3 43 31,532970 W | 688,8584 | 0,0135 |
| 1102 (2)    | 40 26 50,951962 N | 3 43 31,532970 W | 688,8584 | 0,0135 |
| 1103        | 40 26 50,952009 N | 3 43 31,533083 W | 688,855  | 0,0145 |
| 1103        | 40 26 50,952009 N | 3 43 31,533083 W | 688,855  | 0,0145 |
| 1103 (2)    | 40 26 50,952009 N | 3 43 31,533083 W | 688,855  | 0,0145 |
| 1103 (2)    | 40 26 50,952009 N | 3 43 31,533083 W | 688,855  | 0,0145 |
| 1104        | 40 26 50,951998 N | 3 43 31,533060 W | 688,8593 | 0,0145 |
| 1104        | 40 26 50,951998 N | 3 43 31,533060 W | 688,8593 | 0,0145 |
| 1104 (2)    | 40 26 50,951998 N | 3 43 31,533060 W | 688,8593 | 0,0145 |
| 1104 (2)    | 40 26 50,951998 N | 3 43 31,533060 W | 688,8593 | 0,0145 |
| 1105        | 40 26 50,952057 N | 3 43 31,533067 W | 688,8563 | 0,014  |
| 1105        | 40 26 50,952057 N | 3 43 31,533067 W | 688,8563 | 0,014  |
| 1105 (2)    | 40 26 50,952057 N | 3 43 31,533067 W | 688,8563 | 0,014  |
| 1105 (2)    | 40 26 50,952057 N | 3 43 31,533067 W | 688,8563 | 0,014  |
| 1106        | 40 26 50,951928 N | 3 43 31,533123 W | 688,8545 | 0,0141 |
| 1106        | 40 26 50,951928 N | 3 43 31,533123 W | 688,8545 | 0,0141 |
| 1106 (2)    | 40 26 50,951928 N | 3 43 31,533123 W | 688,8545 | 0,0141 |
| 1106 (2)    | 40 26 50,951928 N | 3 43 31,533123 W | 688,8545 | 0,0141 |
| 1107        | 40 26 50,952085 N | 3 43 31,533183 W | 688,8575 | 0,0138 |
| 1107        | 40 26 50,952085 N | 3 43 31,533183 W | 688,8575 | 0,0138 |
| 1107 (2)    | 40 26 50,952085 N | 3 43 31,533183 W | 688,8575 | 0,0138 |
| 1107 (2)    | 40 26 50,952085 N | 3 43 31,533183 W | 688,8575 | 0,0138 |
| 1108        | 40 26 50,952019 N | 3 43 31,533185 W | 688,8603 | 0,0135 |
| 1108        | 40 26 50,952019 N | 3 43 31,533185 W | 688,8603 | 0,0135 |
| 1108 (2)    | 40 26 50,952019 N | 3 43 31,533185 W | 688,8603 | 0,0135 |
| 1108 (2)    | 40 26 50,952019 N | 3 43 31,533185 W | 688,8603 | 0,0135 |
| 1109        | 40 26 50,952044 N | 3 43 31,533141 W | 688,858  | 0,0148 |
| 1109        | 40 26 50,952044 N | 3 43 31,533141 W | 688,858  | 0,0148 |
| 1109 (2)    | 40 26 50,952044 N | 3 43 31,533141 W | 688,858  | 0,0148 |
| 1109 (2)    | 40 26 50,952044 N | 3 43 31,533141 W | 688,858  | 0,0148 |
| 1110        | 40 26 50,952091 N | 3 43 31,533176 W | 688,8567 | 0,0127 |
| 1110        | 40 26 50,952091 N | 3 43 31,533176 W | 688,8567 | 0,0127 |
| 1110 (2)    | 40 26 50,952091 N | 3 43 31,533176 W | 688,8567 | 0,0127 |
| 1110 (2)    | 40 26 50,952091 N | 3 43 31,533176 W | 688,8567 | 0,0127 |
| <b>BOTA</b> |                   |                  |          |        |
| 2000        | 40 26 50,635215 N | 3 43 31,506991 W | 690,4769 | 0,0134 |
| 2000        | 40 26 50,635215 N | 3 43 31,506991 W | 690,4769 | 0,0134 |
| 2000 (2)    | 40 26 50,635215 N | 3 43 31,506991 W | 690,4769 | 0,0134 |
| 2000 (2)    | 40 26 50,635215 N | 3 43 31,506991 W | 690,4769 | 0,0134 |
| 2001        | 40 26 50,635364 N | 3 43 31,506963 W | 690,4652 | 0,0165 |
| 2001        | 40 26 50,635364 N | 3 43 31,506963 W | 690,4652 | 0,0165 |
| 2001 (2)    | 40 26 50,635364 N | 3 43 31,506963 W | 690,4652 | 0,0165 |
| 2001 (2)    | 40 26 50,635364 N | 3 43 31,506963 W | 690,4652 | 0,0165 |
| 2002        | 40 26 50,635341 N | 3 43 31,506978 W | 690,4627 | 0,0163 |
| 2002        | 40 26 50,635341 N | 3 43 31,506978 W | 690,4627 | 0,0163 |
| 2002 (2)    | 40 26 50,635341 N | 3 43 31,506978 W | 690,4627 | 0,0163 |
| 2002 (2)    | 40 26 50,635341 N | 3 43 31,506978 W | 690,4627 | 0,0163 |
| 2003        | 40 26 50,635265 N | 3 43 31,506973 W | 690,4659 | 0,0148 |
| 2003        | 40 26 50,635265 N | 3 43 31,506973 W | 690,4659 | 0,0148 |
| 2003 (2)    | 40 26 50,635265 N | 3 43 31,506973 W | 690,4659 | 0,0148 |
| 2003 (2)    | 40 26 50,635265 N | 3 43 31,506973 W | 690,4659 | 0,0148 |
| 2004        | 40 26 50,635303 N | 3 43 31,506923 W | 690,4673 | 0,0141 |
| 2004        | 40 26 50,635303 N | 3 43 31,506923 W | 690,4673 | 0,0141 |
| 2004 (2)    | 40 26 50,635303 N | 3 43 31,506923 W | 690,4673 | 0,0141 |
| 2004 (2)    | 40 26 50,635303 N | 3 43 31,506923 W | 690,4673 | 0,0141 |
| 2005        | 40 26 50,635399 N | 3 43 31,507009 W | 690,4637 | 0,0154 |



|           |                   |                  |          |        |
|-----------|-------------------|------------------|----------|--------|
| 2005      | 40 26 50,635399 N | 3 43 31,507009 W | 690,4637 | 0,0154 |
| 2005 (2)  | 40 26 50,635399 N | 3 43 31,507009 W | 690,4637 | 0,0154 |
| 2005 (2)  | 40 26 50,635399 N | 3 43 31,507009 W | 690,4637 | 0,0154 |
| 2006      | 40 26 50,635419 N | 3 43 31,506886 W | 690,4623 | 0,0139 |
| 2006      | 40 26 50,635419 N | 3 43 31,506886 W | 690,4623 | 0,0139 |
| 2006 (2)  | 40 26 50,635419 N | 3 43 31,506886 W | 690,4623 | 0,0139 |
| 2006 (2)  | 40 26 50,635419 N | 3 43 31,506886 W | 690,4623 | 0,0139 |
| 2007      | 40 26 50,635456 N | 3 43 31,507065 W | 690,4814 | 0,0118 |
| 2007      | 40 26 50,635456 N | 3 43 31,507065 W | 690,4814 | 0,0118 |
| 2007 (2)  | 40 26 50,635456 N | 3 43 31,507065 W | 690,4814 | 0,0118 |
| 2007 (2)  | 40 26 50,635456 N | 3 43 31,507065 W | 690,4814 | 0,0118 |
| 2008      | 40 26 50,635511 N | 3 43 31,507040 W | 690,4733 | 0,0105 |
| 2008      | 40 26 50,635511 N | 3 43 31,507040 W | 690,4733 | 0,0105 |
| 2008 (2)  | 40 26 50,635511 N | 3 43 31,507040 W | 690,4733 | 0,0105 |
| 2008 (2)  | 40 26 50,635511 N | 3 43 31,507040 W | 690,4733 | 0,0105 |
| 2009      | 40 26 50,635413 N | 3 43 31,507016 W | 690,4767 | 0,0109 |
| 2009      | 40 26 50,635413 N | 3 43 31,507016 W | 690,4767 | 0,0109 |
| 2009 (2)  | 40 26 50,635413 N | 3 43 31,507016 W | 690,4767 | 0,0109 |
| 2009 (2)  | 40 26 50,635413 N | 3 43 31,507016 W | 690,4767 | 0,0109 |
| 2010      | 40 26 50,635487 N | 3 43 31,507071 W | 690,4774 | 0,0108 |
| 2010      | 40 26 50,635487 N | 3 43 31,507071 W | 690,4774 | 0,0108 |
| 2010 (2)  | 40 26 50,635487 N | 3 43 31,507071 W | 690,4774 | 0,0108 |
| 2010 (2)  | 40 26 50,635487 N | 3 43 31,507071 W | 690,4774 | 0,0108 |
| 2011      | 40 26 50,635451 N | 3 43 31,507051 W | 690,483  | 0,0106 |
| 2011      | 40 26 50,635451 N | 3 43 31,507051 W | 690,483  | 0,0106 |
| 2011 (2)  | 40 26 50,635451 N | 3 43 31,507051 W | 690,483  | 0,0106 |
| 2011 (2)  | 40 26 50,635451 N | 3 43 31,507051 W | 690,483  | 0,0106 |
| <b>C2</b> |                   |                  |          |        |
| 2100      | 40 26 51,139275 N | 3 43 31,361798 W | 688,6734 | 0,0146 |
| 2100      | 40 26 51,139275 N | 3 43 31,361798 W | 688,6734 | 0,0146 |
| 2100 (2)  | 40 26 51,139275 N | 3 43 31,361798 W | 688,6734 | 0,0146 |
| 2100 (2)  | 40 26 51,139275 N | 3 43 31,361798 W | 688,6734 | 0,0146 |
| 2101      | 40 26 51,139436 N | 3 43 31,361613 W | 688,6686 | 0,0155 |
| 2101      | 40 26 51,139436 N | 3 43 31,361613 W | 688,6686 | 0,0155 |
| 2101 (2)  | 40 26 51,139436 N | 3 43 31,361613 W | 688,6686 | 0,0155 |
| 2101 (2)  | 40 26 51,139436 N | 3 43 31,361613 W | 688,6686 | 0,0155 |
| 2102      | 40 26 51,139364 N | 3 43 31,362075 W | 688,6842 | 0,0349 |
| 2102      | 40 26 51,139364 N | 3 43 31,362075 W | 688,6842 | 0,0349 |
| 2102 (2)  | 40 26 51,139364 N | 3 43 31,362075 W | 688,6842 | 0,0349 |
| 2102 (2)  | 40 26 51,139364 N | 3 43 31,362075 W | 688,6842 | 0,0349 |
| 2103      | 40 26 51,139305 N | 3 43 31,361720 W | 688,6704 | 0,012  |
| 2103      | 40 26 51,139305 N | 3 43 31,361720 W | 688,6704 | 0,012  |
| 2103 (2)  | 40 26 51,139305 N | 3 43 31,361720 W | 688,6704 | 0,012  |
| 2103 (2)  | 40 26 51,139305 N | 3 43 31,361720 W | 688,6704 | 0,012  |
| 2104      | 40 26 51,139422 N | 3 43 31,361601 W | 688,6683 | 0,0158 |
| 2104      | 40 26 51,139422 N | 3 43 31,361601 W | 688,6683 | 0,0158 |
| 2104 (2)  | 40 26 51,139422 N | 3 43 31,361601 W | 688,6683 | 0,0158 |
| 2104 (2)  | 40 26 51,139422 N | 3 43 31,361601 W | 688,6683 | 0,0158 |
| 2105      | 40 26 51,139508 N | 3 43 31,361646 W | 688,662  | 0,0152 |
| 2105      | 40 26 51,139508 N | 3 43 31,361646 W | 688,662  | 0,0152 |
| 2105 (2)  | 40 26 51,139508 N | 3 43 31,361646 W | 688,662  | 0,0152 |
| 2105 (2)  | 40 26 51,139508 N | 3 43 31,361646 W | 688,662  | 0,0152 |
| 2106      | 40 26 51,139351 N | 3 43 31,361741 W | 688,6705 | 0,014  |
| 2106      | 40 26 51,139351 N | 3 43 31,361741 W | 688,6705 | 0,014  |
| 2106 (2)  | 40 26 51,139351 N | 3 43 31,361741 W | 688,6705 | 0,014  |
| 2106 (2)  | 40 26 51,139351 N | 3 43 31,361741 W | 688,6705 | 0,014  |



|             |                   |                  |          |        |
|-------------|-------------------|------------------|----------|--------|
| 2107        | 40 26 51,139222 N | 3 43 31,361613 W | 688,6688 | 0,0151 |
| 2107        | 40 26 51,139222 N | 3 43 31,361613 W | 688,6688 | 0,0151 |
| 2107 (2)    | 40 26 51,139222 N | 3 43 31,361613 W | 688,6688 | 0,0151 |
| 2107 (2)    | 40 26 51,139222 N | 3 43 31,361613 W | 688,6688 | 0,0151 |
| 2108        | 40 26 51,139312 N | 3 43 31,361725 W | 688,662  | 0,0156 |
| 2108        | 40 26 51,139312 N | 3 43 31,361725 W | 688,662  | 0,0156 |
| 2108 (2)    | 40 26 51,139312 N | 3 43 31,361725 W | 688,662  | 0,0156 |
| 2108 (2)    | 40 26 51,139312 N | 3 43 31,361725 W | 688,662  | 0,0156 |
| 2109        | 40 26 51,139286 N | 3 43 31,361724 W | 688,67   | 0,0167 |
| 2109        | 40 26 51,139286 N | 3 43 31,361724 W | 688,67   | 0,0167 |
| 2109 (2)    | 40 26 51,139286 N | 3 43 31,361724 W | 688,67   | 0,0167 |
| 2109 (2)    | 40 26 51,139286 N | 3 43 31,361724 W | 688,67   | 0,0167 |
| 2110        | 40 26 51,139310 N | 3 43 31,361600 W | 688,661  | 0,0162 |
| 2110        | 40 26 51,139310 N | 3 43 31,361600 W | 688,661  | 0,0162 |
| 2110 (2)    | 40 26 51,139310 N | 3 43 31,361600 W | 688,661  | 0,0162 |
| 2110 (2)    | 40 26 51,139310 N | 3 43 31,361600 W | 688,661  | 0,0162 |
| <b>BOTA</b> |                   |                  |          |        |
| 2200        | 40 26 50,635287 N | 3 43 31,507044 W | 690,4708 | 0,0157 |
| 2200        | 40 26 50,635287 N | 3 43 31,507044 W | 690,4708 | 0,0157 |
| 2200 (2)    | 40 26 50,635287 N | 3 43 31,507044 W | 690,4708 | 0,0157 |
| 2200 (2)    | 40 26 50,635287 N | 3 43 31,507044 W | 690,4708 | 0,0157 |
| 2201        | 40 26 50,635241 N | 3 43 31,507066 W | 690,4718 | 0,0169 |
| 2201        | 40 26 50,635241 N | 3 43 31,507066 W | 690,4718 | 0,0169 |
| 2201 (2)    | 40 26 50,635241 N | 3 43 31,507066 W | 690,4718 | 0,0169 |
| 2201 (2)    | 40 26 50,635241 N | 3 43 31,507066 W | 690,4718 | 0,0169 |
| 2202        | 40 26 50,635293 N | 3 43 31,506939 W | 690,4672 | 0,0153 |
| 2202        | 40 26 50,635293 N | 3 43 31,506939 W | 690,4672 | 0,0153 |
| 2202 (2)    | 40 26 50,635293 N | 3 43 31,506939 W | 690,4672 | 0,0153 |
| 2202 (2)    | 40 26 50,635293 N | 3 43 31,506939 W | 690,4672 | 0,0153 |
| 2203        | 40 26 50,635280 N | 3 43 31,507032 W | 690,4684 | 0,0156 |
| 2203        | 40 26 50,635280 N | 3 43 31,507032 W | 690,4684 | 0,0156 |
| 2203 (2)    | 40 26 50,635280 N | 3 43 31,507032 W | 690,4684 | 0,0156 |
| 2203 (2)    | 40 26 50,635280 N | 3 43 31,507032 W | 690,4684 | 0,0156 |
| 2204        | 40 26 50,635248 N | 3 43 31,507073 W | 690,4676 | 0,0154 |
| 2204        | 40 26 50,635248 N | 3 43 31,507073 W | 690,4676 | 0,0154 |
| 2204 (2)    | 40 26 50,635248 N | 3 43 31,507073 W | 690,4676 | 0,0154 |
| 2204 (2)    | 40 26 50,635248 N | 3 43 31,507073 W | 690,4676 | 0,0154 |
| 2205        | 40 26 50,635304 N | 3 43 31,507050 W | 690,4702 | 0,0153 |
| 2205        | 40 26 50,635304 N | 3 43 31,507050 W | 690,4702 | 0,0153 |
| 2205 (2)    | 40 26 50,635304 N | 3 43 31,507050 W | 690,4702 | 0,0153 |
| 2205 (2)    | 40 26 50,635304 N | 3 43 31,507050 W | 690,4702 | 0,0153 |
| 2206        | 40 26 50,635240 N | 3 43 31,507119 W | 690,4688 | 0,0163 |
| 2206        | 40 26 50,635240 N | 3 43 31,507119 W | 690,4688 | 0,0163 |
| 2206 (2)    | 40 26 50,635240 N | 3 43 31,507119 W | 690,4688 | 0,0163 |
| 2206 (2)    | 40 26 50,635240 N | 3 43 31,507119 W | 690,4688 | 0,0163 |
| 2207        | 40 26 50,635247 N | 3 43 31,507067 W | 690,464  | 0,0167 |
| 2207        | 40 26 50,635247 N | 3 43 31,507067 W | 690,464  | 0,0167 |
| 2207 (2)    | 40 26 50,635247 N | 3 43 31,507067 W | 690,464  | 0,0167 |
| 2207 (2)    | 40 26 50,635247 N | 3 43 31,507067 W | 690,464  | 0,0167 |
| 2208        | 40 26 50,635277 N | 3 43 31,507083 W | 690,4643 | 0,0147 |
| 2208        | 40 26 50,635277 N | 3 43 31,507083 W | 690,4643 | 0,0147 |
| 2208 (2)    | 40 26 50,635277 N | 3 43 31,507083 W | 690,4643 | 0,0147 |
| 2208 (2)    | 40 26 50,635277 N | 3 43 31,507083 W | 690,4643 | 0,0147 |
| 2209        | 40 26 50,635271 N | 3 43 31,507056 W | 690,4719 | 0,0156 |
| 2209        | 40 26 50,635271 N | 3 43 31,507056 W | 690,4719 | 0,0156 |
| 2209 (2)    | 40 26 50,635271 N | 3 43 31,507056 W | 690,4719 | 0,0156 |



|           |                   |                  |          |        |
|-----------|-------------------|------------------|----------|--------|
| 2209 (2)  | 40 26 50,635271 N | 3 43 31,507056 W | 690,4719 | 0,0156 |
| 2210      | 40 26 50,635211 N | 3 43 31,507096 W | 690,4697 | 0,0138 |
| 2210      | 40 26 50,635211 N | 3 43 31,507096 W | 690,4697 | 0,0138 |
| 2210 (2)  | 40 26 50,635211 N | 3 43 31,507096 W | 690,4697 | 0,0138 |
| 2210 (2)  | 40 26 50,635211 N | 3 43 31,507096 W | 690,4697 | 0,0138 |
| <b>C3</b> |                   |                  |          |        |
| 3100      | 40 26 51,155678 N | 3 43 31,172097 W | 688,547  | 0,0337 |
| 3100      | 40 26 51,155678 N | 3 43 31,172097 W | 688,547  | 0,0337 |
| 3100 (2)  | 40 26 51,155678 N | 3 43 31,172097 W | 688,547  | 0,0337 |
| 3100 (2)  | 40 26 51,155678 N | 3 43 31,172097 W | 688,547  | 0,0337 |
| 3101      | 40 26 51,155595 N | 3 43 31,172105 W | 688,5492 | 0,0333 |
| 3101      | 40 26 51,155595 N | 3 43 31,172105 W | 688,5492 | 0,0333 |
| 3101 (2)  | 40 26 51,155595 N | 3 43 31,172105 W | 688,5492 | 0,0333 |
| 3101 (2)  | 40 26 51,155595 N | 3 43 31,172105 W | 688,5492 | 0,0333 |
| 3102      | 40 26 51,155761 N | 3 43 31,171988 W | 688,5452 | 0,0329 |
| 3102      | 40 26 51,155761 N | 3 43 31,171988 W | 688,5452 | 0,0329 |
| 3102 (2)  | 40 26 51,155761 N | 3 43 31,171988 W | 688,5452 | 0,0329 |
| 3102 (2)  | 40 26 51,155761 N | 3 43 31,171988 W | 688,5452 | 0,0329 |
| 3103      | 40 26 51,155540 N | 3 43 31,172105 W | 688,5398 | 0,0356 |
| 3103      | 40 26 51,155540 N | 3 43 31,172105 W | 688,5398 | 0,0356 |
| 3103 (2)  | 40 26 51,155540 N | 3 43 31,172105 W | 688,5398 | 0,0356 |
| 3103 (2)  | 40 26 51,155540 N | 3 43 31,172105 W | 688,5398 | 0,0356 |
| 3104      | 40 26 51,155642 N | 3 43 31,172109 W | 688,5502 | 0,034  |
| 3104      | 40 26 51,155642 N | 3 43 31,172109 W | 688,5502 | 0,034  |
| 3104 (2)  | 40 26 51,155642 N | 3 43 31,172109 W | 688,5502 | 0,034  |
| 3104 (2)  | 40 26 51,155642 N | 3 43 31,172109 W | 688,5502 | 0,034  |
| 3105      | 40 26 51,155741 N | 3 43 31,172121 W | 688,5429 | 0,0344 |
| 3105      | 40 26 51,155741 N | 3 43 31,172121 W | 688,5429 | 0,0344 |
| 3105 (2)  | 40 26 51,155741 N | 3 43 31,172121 W | 688,5429 | 0,0344 |
| 3105 (2)  | 40 26 51,155741 N | 3 43 31,172121 W | 688,5429 | 0,0344 |
| 3106      | 40 26 51,155690 N | 3 43 31,172140 W | 688,5482 | 0,0347 |
| 3106      | 40 26 51,155690 N | 3 43 31,172140 W | 688,5482 | 0,0347 |
| 3106 (2)  | 40 26 51,155690 N | 3 43 31,172140 W | 688,5482 | 0,0347 |
| 3106 (2)  | 40 26 51,155690 N | 3 43 31,172140 W | 688,5482 | 0,0347 |
| 3107      | 40 26 51,155710 N | 3 43 31,172147 W | 688,5504 | 0,0342 |
| 3107      | 40 26 51,155710 N | 3 43 31,172147 W | 688,5504 | 0,0342 |
| 3107 (2)  | 40 26 51,155710 N | 3 43 31,172147 W | 688,5504 | 0,0342 |
| 3107 (2)  | 40 26 51,155710 N | 3 43 31,172147 W | 688,5504 | 0,0342 |
| 3108      | 40 26 51,155861 N | 3 43 31,171959 W | 688,5424 | 0,0339 |
| 3108      | 40 26 51,155861 N | 3 43 31,171959 W | 688,5424 | 0,0339 |
| 3108 (2)  | 40 26 51,155861 N | 3 43 31,171959 W | 688,5424 | 0,0339 |
| 3108 (2)  | 40 26 51,155861 N | 3 43 31,171959 W | 688,5424 | 0,0339 |
| 3109      | 40 26 51,155791 N | 3 43 31,172038 W | 688,5481 | 0,0365 |
| 3109      | 40 26 51,155791 N | 3 43 31,172038 W | 688,5481 | 0,0365 |
| 3109 (2)  | 40 26 51,155791 N | 3 43 31,172038 W | 688,5481 | 0,0365 |
| 3109 (2)  | 40 26 51,155791 N | 3 43 31,172038 W | 688,5481 | 0,0365 |
| 3110      | 40 26 51,155776 N | 3 43 31,172012 W | 688,5467 | 0,0339 |
| 3110      | 40 26 51,155776 N | 3 43 31,172012 W | 688,5467 | 0,0339 |
| 3110 (2)  | 40 26 51,155776 N | 3 43 31,172012 W | 688,5467 | 0,0339 |
| 3110 (2)  | 40 26 51,155776 N | 3 43 31,172012 W | 688,5467 | 0,0339 |
| <b>C4</b> |                   |                  |          |        |
| 4100      | 40 26 50,651141 N | 3 43 31,166777 W | 688,5519 | 0,0195 |
| 4100      | 40 26 50,651141 N | 3 43 31,166777 W | 688,5519 | 0,0195 |
| 4100 (2)  | 40 26 50,651141 N | 3 43 31,166777 W | 688,5519 | 0,0195 |
| 4100 (2)  | 40 26 50,651141 N | 3 43 31,166777 W | 688,5519 | 0,0195 |
| 4101      | 40 26 50,650892 N | 3 43 31,167081 W | 688,5673 | 0,0206 |



|           |                   |                  |          |        |
|-----------|-------------------|------------------|----------|--------|
| 4101      | 40 26 50,650892 N | 3 43 31,167081 W | 688,5673 | 0,0206 |
| 4101 (2)  | 40 26 50,650892 N | 3 43 31,167081 W | 688,5673 | 0,0206 |
| 4101 (2)  | 40 26 50,650892 N | 3 43 31,167081 W | 688,5673 | 0,0206 |
| 4102      | 40 26 50,650878 N | 3 43 31,166996 W | 688,5673 | 0,0222 |
| 4102      | 40 26 50,650878 N | 3 43 31,166996 W | 688,5673 | 0,0222 |
| 4102 (2)  | 40 26 50,650878 N | 3 43 31,166996 W | 688,5673 | 0,0222 |
| 4102 (2)  | 40 26 50,650878 N | 3 43 31,166996 W | 688,5673 | 0,0222 |
| 4103      | 40 26 50,650925 N | 3 43 31,166878 W | 688,5633 | 0,0209 |
| 4103      | 40 26 50,650925 N | 3 43 31,166878 W | 688,5633 | 0,0209 |
| 4103 (2)  | 40 26 50,650925 N | 3 43 31,166878 W | 688,5633 | 0,0209 |
| 4103 (2)  | 40 26 50,650925 N | 3 43 31,166878 W | 688,5633 | 0,0209 |
| 4104      | 40 26 50,650922 N | 3 43 31,166855 W | 688,5637 | 0,021  |
| 4104      | 40 26 50,650922 N | 3 43 31,166855 W | 688,5637 | 0,021  |
| 4104 (2)  | 40 26 50,650922 N | 3 43 31,166855 W | 688,5637 | 0,021  |
| 4104 (2)  | 40 26 50,650922 N | 3 43 31,166855 W | 688,5637 | 0,021  |
| 4105      | 40 26 50,651226 N | 3 43 31,166587 W | 688,5499 | 0,0192 |
| 4105      | 40 26 50,651226 N | 3 43 31,166587 W | 688,5499 | 0,0192 |
| 4105 (2)  | 40 26 50,651226 N | 3 43 31,166587 W | 688,5499 | 0,0192 |
| 4105 (2)  | 40 26 50,651226 N | 3 43 31,166587 W | 688,5499 | 0,0192 |
| 4106      | 40 26 50,651066 N | 3 43 31,166803 W | 688,5573 | 0,0179 |
| 4106      | 40 26 50,651066 N | 3 43 31,166803 W | 688,5573 | 0,0179 |
| 4106 (2)  | 40 26 50,651066 N | 3 43 31,166803 W | 688,5573 | 0,0179 |
| 4106 (2)  | 40 26 50,651066 N | 3 43 31,166803 W | 688,5573 | 0,0179 |
| 4107      | 40 26 50,651300 N | 3 43 31,166529 W | 688,5457 | 0,0148 |
| 4107      | 40 26 50,651300 N | 3 43 31,166529 W | 688,5457 | 0,0148 |
| 4107 (2)  | 40 26 50,651300 N | 3 43 31,166529 W | 688,5457 | 0,0148 |
| 4107 (2)  | 40 26 50,651300 N | 3 43 31,166529 W | 688,5457 | 0,0148 |
| 4108      | 40 26 50,651295 N | 3 43 31,166556 W | 688,5412 | 0,0158 |
| 4108      | 40 26 50,651295 N | 3 43 31,166556 W | 688,5412 | 0,0158 |
| 4108 (2)  | 40 26 50,651295 N | 3 43 31,166556 W | 688,5412 | 0,0158 |
| 4108 (2)  | 40 26 50,651295 N | 3 43 31,166556 W | 688,5412 | 0,0158 |
| 4109      | 40 26 50,651151 N | 3 43 31,166621 W | 688,5433 | 0,0173 |
| 4109      | 40 26 50,651151 N | 3 43 31,166621 W | 688,5433 | 0,0173 |
| 4109 (2)  | 40 26 50,651151 N | 3 43 31,166621 W | 688,5433 | 0,0173 |
| 4109 (2)  | 40 26 50,651151 N | 3 43 31,166621 W | 688,5433 | 0,0173 |
| 4110      | 40 26 50,651881 N | 3 43 31,166097 W | 688,5177 | 0,0153 |
| 4110      | 40 26 50,651881 N | 3 43 31,166097 W | 688,5177 | 0,0153 |
| 4110 (2)  | 40 26 50,651881 N | 3 43 31,166097 W | 688,5177 | 0,0153 |
| 4110 (2)  | 40 26 50,651881 N | 3 43 31,166097 W | 688,5177 | 0,0153 |
| <b>C5</b> |                   |                  |          |        |
| 5100      | 40 26 50,053269 N | 3 43 31,325428 W | 688,7019 | 0,012  |
| 5100      | 40 26 50,053269 N | 3 43 31,325428 W | 688,7019 | 0,012  |
| 5100 (2)  | 40 26 50,053269 N | 3 43 31,325428 W | 688,7019 | 0,012  |
| 5100 (2)  | 40 26 50,053269 N | 3 43 31,325428 W | 688,7019 | 0,012  |
| 5101      | 40 26 50,053335 N | 3 43 31,325450 W | 688,7063 | 0,014  |
| 5101      | 40 26 50,053335 N | 3 43 31,325450 W | 688,7063 | 0,014  |
| 5101 (2)  | 40 26 50,053335 N | 3 43 31,325450 W | 688,7063 | 0,014  |
| 5101 (2)  | 40 26 50,053335 N | 3 43 31,325450 W | 688,7063 | 0,014  |
| 5102      | 40 26 50,053332 N | 3 43 31,325395 W | 688,7026 | 0,0128 |
| 5102      | 40 26 50,053332 N | 3 43 31,325395 W | 688,7026 | 0,0128 |
| 5102 (2)  | 40 26 50,053332 N | 3 43 31,325395 W | 688,7026 | 0,0128 |
| 5102 (2)  | 40 26 50,053332 N | 3 43 31,325395 W | 688,7026 | 0,0128 |
| 5103      | 40 26 50,053305 N | 3 43 31,325475 W | 688,7024 | 0,0135 |
| 5103      | 40 26 50,053305 N | 3 43 31,325475 W | 688,7024 | 0,0135 |
| 5103 (2)  | 40 26 50,053305 N | 3 43 31,325475 W | 688,7024 | 0,0135 |
| 5103 (2)  | 40 26 50,053305 N | 3 43 31,325475 W | 688,7024 | 0,0135 |



|          |                   |                  |          |        |
|----------|-------------------|------------------|----------|--------|
| 5104     | 40 26 50,053262 N | 3 43 31,325478 W | 688,7045 | 0,0119 |
| 5104     | 40 26 50,053262 N | 3 43 31,325478 W | 688,7045 | 0,0119 |
| 5104 (2) | 40 26 50,053262 N | 3 43 31,325478 W | 688,7045 | 0,0119 |
| 5104 (2) | 40 26 50,053262 N | 3 43 31,325478 W | 688,7045 | 0,0119 |
| 5105     | 40 26 50,053349 N | 3 43 31,325464 W | 688,7018 | 0,0122 |
| 5105     | 40 26 50,053349 N | 3 43 31,325464 W | 688,7018 | 0,0122 |
| 5105 (2) | 40 26 50,053349 N | 3 43 31,325464 W | 688,7018 | 0,0122 |
| 5105 (2) | 40 26 50,053349 N | 3 43 31,325464 W | 688,7018 | 0,0122 |
| 5106     | 40 26 50,053284 N | 3 43 31,325483 W | 688,7034 | 0,0125 |
| 5106     | 40 26 50,053284 N | 3 43 31,325483 W | 688,7034 | 0,0125 |
| 5106 (2) | 40 26 50,053284 N | 3 43 31,325483 W | 688,7034 | 0,0125 |
| 5106 (2) | 40 26 50,053284 N | 3 43 31,325483 W | 688,7034 | 0,0125 |
| 5107     | 40 26 50,053349 N | 3 43 31,325408 W | 688,705  | 0,013  |
| 5107     | 40 26 50,053349 N | 3 43 31,325408 W | 688,705  | 0,013  |
| 5107 (2) | 40 26 50,053349 N | 3 43 31,325408 W | 688,705  | 0,013  |
| 5107 (2) | 40 26 50,053349 N | 3 43 31,325408 W | 688,705  | 0,013  |
| 5108     | 40 26 50,053372 N | 3 43 31,325523 W | 688,7072 | 0,0122 |
| 5108     | 40 26 50,053372 N | 3 43 31,325523 W | 688,7072 | 0,0122 |
| 5108 (2) | 40 26 50,053372 N | 3 43 31,325523 W | 688,7072 | 0,0122 |
| 5108 (2) | 40 26 50,053372 N | 3 43 31,325523 W | 688,7072 | 0,0122 |
| 5109     | 40 26 50,053396 N | 3 43 31,325458 W | 688,7035 | 0,0121 |
| 5109     | 40 26 50,053396 N | 3 43 31,325458 W | 688,7035 | 0,0121 |
| 5109 (2) | 40 26 50,053396 N | 3 43 31,325458 W | 688,7035 | 0,0121 |
| 5109 (2) | 40 26 50,053396 N | 3 43 31,325458 W | 688,7035 | 0,0121 |
| 5110     | 40 26 50,053261 N | 3 43 31,325435 W | 688,7083 | 0,0116 |
| 5110     | 40 26 50,053261 N | 3 43 31,325435 W | 688,7083 | 0,0116 |
| 5110 (2) | 40 26 50,053261 N | 3 43 31,325435 W | 688,7083 | 0,0116 |
| 5110 (2) | 40 26 50,053261 N | 3 43 31,325435 W | 688,7083 | 0,0116 |



## Anexo II

---

### A5. Software utilizado

#### A5.1. Software desarrollado

Todo el software creado por el autor que aparezca en este trabajo está bajo la licencia GPLv3.0 que puede verse en A5.3.

**angrect.m**

```
1  clear all
2  a=input('Primer vector director:');
3  b=input('Segundo vector director:');
4  s=abs(dot(a,b));
5  moda=sqrt(a(1,1).^2+a(1,2).^2);
6  modb=sqrt(b(1,1).^2+b(1,2).^2);
7  mod=moda*modb;
8
9  angulo=acosd((sign(a(1,2))*sign(a(1,1))*s/mod));
10
11  grados=fix(angulo);
12  int1=angulo-floor(angulo);
13  minutos=fix((int1-floor(int1))*60);
14  int2=((int1-floor(int1))*60)*60;
15  segundos=(int2-floor(int2))*60;
16
17  disp(sprintf('Ángulo: %d° %d´ %0.4g´´',grados,minutos,segundos))
```

## Archivo de configuración de Starry Night para el Santuario de Castilmocho

```

1 <HTML>
2 <BODY>
3 This file is a <A HREF="http://www.starrynight.com">Starry Night
  document.</A>
4 <SN_VALUE name="Version" value="Pro (Mac) - p400c-EM">
5 <SN_VALUE name="VersionSKU" value="p400c-EM">
6 <SN_VALUE name="charset" value="Macintosh-ASCII">
7
8 // Pano name - you see this in menus, etc. This should be unique
  for each pano
9 <SN_VALUE name="PanoName" value="Yacimiento">
10 <SN_VALUE name="ImageFileName" value="Castilmocho.psd">
11
12 // In degrees, the height of the image
13 <SN_VALUE name="ImageHeight" value="52.000000000000000000">
14
15 // If the image has an alpha channel that is set up with the sky
  having an alpha of 0 and the horizon an alpha of 1,
16 // with alpha blending at the interface, we need to say Yes here,
  otherwise say "no"
17 <SN_VALUE name="UseImageAlpha" value="Yes">
18
19 // These values are in the coord system that you pick out with
  ImageCoordSys
20 <SN_VALUE name="ImageCentreDec" value="0.000000000000000000">
21 <SN_VALUE name="ImageCentreRa" value="0.000000000000000000">
22
23 // These are also in ImageCoordSys coord sys
24 // They determine where the image will be
25 <SN_VALUE name="ImageAxisDec" value="90.000000000000000000">
26 <SN_VALUE name="ImageAxisRa" value="0.000000000000000000">
27
28 <SN_VALUE name="PanoBrightness" value="1.000000000000000000">
29
30 // Used during liftoff to draw a horizon nicely. Ignored for panos
  like the milkyway which are always far off.

```

```

31 <SN_VALUE name="PanoBottomDistance" value="0.1">
32 <SN_VALUE name="PanoTopDistance" value="1.000000000000000000">
33
34 // Used during liftoff to draw a horizon nicely. Ignored for panos
    like the milkyway which are always far off.
35 // the color is red, green, blue, with each value scaled 0 to 65535
36 <SN_VALUE name="PanoApproxColor" value="36000, 36000, 36000">
37
38 // If preload is set, will load image on startup
39 <SN_VALUE name="Preload" value="Yes">
40
41
42 // ImageCoordSys values
43 //                                kNoCoordinateSystem = 0,
44 //                                kAltAzSystem = 1,
45 //                                kGalacticSystem = 2,
46 //                                kEclipticSystem = 3,
47 //                                kCelestialJ2000System = 4,
48 //                                kCelestialJNowSystem = 5,
49 //                                kOrientationSystem = 6,
50 //                                kSuperGalacticSystem = 7,
51 <SN_VALUE name="ImageCoordSys" value="1">
52
53
54 // ImageTransferMode values
55 // OpenGLState kNoState = 0,
56 //                                kDefault = 1,
57 //                                kStars = 2,
58 //                                kTransparentAdd = 3,
59 //                                kTransparentGlass = 4,
60 //                                kOpaque = 5,
61 //                                kShaded = 6,
62 //                                kLighting = 7,                // shaded
    with specular lighting
63 //                                kShadedLine = 8,
64 //                                kBillboard = 9,
65 // For horizons, 4 (kTransparentGlass) and 5 (kOpaque) are
66 <SN_VALUE name="ImageTransferMode" value="4">

```

```
67  
68 <SN_VALUE name="ImageWidth" value="360.000000000000000000">  
69 </BODY>
```

## A5.2. Software propietario

### SOFTWARE PROPIETARIO UTILIZADO EN ESTE TRABAJO

**SPSS v21.0** SPSS Statistics es un completo conjunto de datos y herramientas de análisis predictivo.

Ofrece técnicas avanzadas de análisis univariados y multivariados muy efectivas y sofisticadas, entre las que se incluyen:

- Procedimientos de modelos lineales generales (GLM) y de modelos mixtos.
- Modelos lineales generalizados (GENLIN), que incluyen los modelos estadísticos más utilizados como la regresión lineal para respuestas distribuidas con normalidad, modelos logísticos para datos binarios y modelos loglineales para datos de recuento.
- GENLIN también ofrece varios modelos estadísticos muy útiles a través de su propia formulación general de modelos.
- Los procedimientos de las ecuaciones de estimación generalizadas (GEE) amplían los modelos lineales generalizados para acomodar datos longitudinales correlacionados y datos en clúster.
- Modelos mixtos lineales generalizados (GLMM) para utilizar con datos jerárquicos.

<http://www-01.ibm.com/software/es/analytics/spss/>

**Starry Night** Software astronómico fotorealista.

Ofrece algunas características muy interesantes para Arqueoastronomía.

- Permite el uso de horizontes personalizados para cualquier lugar de observación.
- Permite el modelado del cielo desde el año 99.999 a.C. hasta el 99.9999 d.C.
- Es posible la generación de videos trazando el movimiento de cualquier cuerpo celeste durante un periodo determinado.
- Su base de datos posee 65 millones de estrellas y un millón de objetos de espacio profundo.

`astronomy.starrynight.com`

**Alcyone Ephemeris v.4.3** Software astronómico para cálculo de efemérides.

`www.alcyone.de`



### A5.3. Software libre

#### SOFTWARE LIBRE UTILIZADO EN ESTE TRABAJO

**GNU Octave** Lenguaje interpretado de alto nivel, básicamente diseñado para cálculo numérico. Permite la solución numérica de problemas lineales y no lineales a través de una línea de comandos interactiva, pero pueden programarse programas que no interactúen con el usuario.

<http://www.gnu.org/software/octave/index.html>

**QtOctave** Graphic User Interface (GUI) de GNU Octave. Posee un editor de código y un entorno gráfico donde ejecutar código GNU Octave.

<https://forja.rediris.es/projects/csl-qt octave/>

**GMT** Generic Mapping Tools es una colección de unas 65 herramientas para manipular conjuntos de datos geográficos y cartesianos. El resultado son mapas en formato EPS (Encapsulated PostScript File) que van desde el simple formato x-y hasta superficies iluminadas artificialmente y vistas en perspectiva en 3D pasando por mapas de contorno. GMT soporta más de 30 proyecciones y transformaciones de coordenadas y nativamente proporciona datos de líneas de costa, ríos y fronteras políticas a varias resoluciones.

<http://gmt.soest.hawaii.edu/>

**Hugin** Programa para la creación de imágenes en 360°.

<http://hugin.sourceforge.net/>

## LICENCIA PÚBLICA GENERAL DE GNU

Copyright © 2007 Free Software Foundation, Inc. <http://fsf.org/>

Everyone is permitted to copy and distribute verbatim copies of this license document, but changing it is not allowed.

The GNU General Public License is a free, copyleft license for software and other kinds of works.

The licenses for most software and other practical works are designed to take away your freedom to share and change the works. By contrast, the GNU General Public License is intended to guarantee your freedom to share and change all versions of a program—to make sure it remains free software for all its users. We, the Free Software Foundation, use the GNU General Public License for most of our software; it applies also to any other work released this way by its authors. You can apply it to your programs, too.

When we speak of free software, we are referring to freedom, not price. Our General Public Licenses are designed to make sure that you have the freedom to distribute copies of free software (and charge for them if you wish), that you receive source code or can get it if you want it, that you can change the software or use pieces of it in new free programs, and that you know you can do these things.

To protect your rights, we need to prevent others from denying you these rights or asking you to surrender the rights. Therefore, you have certain responsibilities if you distribute copies of the software, or if you modify it: responsibilities to respect the freedom of others.

For example, if you distribute copies of such a program, whether gratis or for a fee, you must pass on to the recipients the same freedoms that you received. You must make sure that they, too, receive or can get the source code. And you must show them these terms so they know their rights.

Developers that use the GNU GPL protect your rights with two steps:

(1) assert copyright on the software, and (2) offer you this License giving you legal permission to copy, distribute and/or modify it.

For the developers' and authors' protection, the GPL clearly explains that there is no warranty for this free software. For both users' and authors' sake, the GPL

requires that modified versions be marked as changed, so that their problems will not be attributed erroneously to authors of previous versions.

Some devices are designed to deny users access to install or run modified versions of the software inside them, although the manufacturer can do so. This is fundamentally incompatible with the aim of protecting users' freedom to change the software. The systematic pattern of such abuse occurs in the area of products for individuals to use, which is precisely where it is most unacceptable. Therefore, we have designed this version of the GPL to prohibit the practice for those products. If such problems arise substantially in other domains, we stand ready to extend this provision to those domains in future versions of the GPL, as needed to protect the freedom of users.

Finally, every program is threatened constantly by software patents. States should not allow patents to restrict development and use of software on general-purpose computers, but in those that do, we wish to avoid the special danger that patents applied to a free program could make it effectively proprietary. To prevent this, the GPL assures that patents cannot be used to render the program non-free.

The precise terms and conditions for copying, distribution and modification follow.

## TERMS AND CONDITIONS

### 0. Definitions.

"This License" refers to version 3 of the GNU General Public License.

"Copyright" also means copyright-like laws that apply to other kinds of works, such as semiconductor masks.

"The Program" refers to any copyrightable work licensed under this License. Each licensee is addressed as "you". "Licensees" and "recipients" may be individuals or organizations.

To "modify" a work means to copy from or adapt all or part of the work in a fashion requiring copyright permission, other than the making of an exact copy. The resulting work is called a "modified version" of the earlier work or a work "based on" the earlier work.

A "covered work" means either the unmodified Program or a work based on the Program.

To “propagate” a work means to do anything with it that, without permission, would make you directly or secondarily liable for infringement under applicable copyright law, except executing it on a computer or modifying a private copy. Propagation includes copying, distribution (with or without modification), making available to the public, and in some countries other activities as well.

To “convey” a work means any kind of propagation that enables other parties to make or receive copies. Mere interaction with a user through a computer network, with no transfer of a copy, is not conveying.

An interactive user interface displays “Appropriate Legal Notices” to the extent that it includes a convenient and prominently visible feature that (1) displays an appropriate copyright notice, and (2) tells the user that there is no warranty for the work (except to the extent that warranties are provided), that licensees may convey the work under this License, and how to view a copy of this License. If the interface presents a list of user commands or options, such as a menu, a prominent item in the list meets this criterion.

#### 1. Source Code.

The “source code” for a work means the preferred form of the work for making modifications to it. “Object code” means any non-source form of a work.

A “Standard Interface” means an interface that either is an official standard defined by a recognized standards body, or, in the case of interfaces specified for a particular programming language, one that is widely used among developers working in that language.

The “System Libraries” of an executable work include anything, other than the work as a whole, that (a) is included in the normal form of packaging a Major Component, but which is not part of that Major Component, and (b) serves only to enable use of the work with that Major Component, or to implement a Standard Interface for which an implementation is available to the public in source code form. A “Major Component”, in this context, means a major essential component (kernel, window system, and so on) of the specific operating system (if any) on which the executable work runs, or a compiler used to produce the work, or an object code interpreter used to run it.

The “Corresponding Source” for a work in object code form means all the source code needed to generate, install, and (for an executable work) run the object

code and to modify the work, including scripts to control those activities. However, it does not include the work's System Libraries, or general-purpose tools or generally available free programs which are used unmodified in performing those activities but which are not part of the work. For example, Corresponding Source includes interface definition files associated with source files for the work, and the source code for shared libraries and dynamically linked subprograms that the work is specifically designed to require, such as by intimate data communication or control flow between those subprograms and other parts of the work.

The Corresponding Source need not include anything that users can regenerate automatically from other parts of the Corresponding Source.

The Corresponding Source for a work in source code form is that same work.

## 2. Basic Permissions.

All rights granted under this License are granted for the term of copyright on the Program, and are irrevocable provided the stated conditions are met. This License explicitly affirms your unlimited permission to run the unmodified Program. The output from running a covered work is covered by this License only if the output, given its content, constitutes a covered work. This License acknowledges your rights of fair use or other equivalent, as provided by copyright law.

You may make, run and propagate covered works that you do not convey, without conditions so long as your license otherwise remains in force. You may convey covered works to others for the sole purpose of having them make modifications exclusively for you, or provide you with facilities for running those works, provided that you comply with the terms of this License in conveying all material for which you do not control copyright. Those thus making or running the covered works for you must do so exclusively on your behalf, under your direction and control, on terms that prohibit them from making any copies of your copyrighted material outside their relationship with you.

Conveying under any other circumstances is permitted solely under the conditions stated below. Sublicensing is not allowed; section 10 makes it unnecessary.

## 3. Protecting Users' Legal Rights From Anti-Circumvention Law.

No covered work shall be deemed part of an effective technological measure under any applicable law fulfilling obligations under article 11 of the WIPO copyright treaty adopted on 20 December 1996, or similar laws prohibiting or restricting circumvention of such measures.

When you convey a covered work, you waive any legal power to forbid circumvention of technological measures to the extent such circumvention is effected by exercising rights under this License with respect to the covered work, and you disclaim any intention to limit operation or modification of the work as a means of enforcing, against the work's users, your or third parties' legal rights to forbid circumvention of technological measures.

#### 4. Conveying Verbatim Copies.

You may convey verbatim copies of the Program's source code as you receive it, in any medium, provided that you conspicuously and appropriately publish on each copy an appropriate copyright notice; keep intact all notices stating that this License and any non-permissive terms added in accord with section 7 apply to the code; keep intact all notices of the absence of any warranty; and give all recipients a copy of this License along with the Program.

You may charge any price or no price for each copy that you convey, and you may offer support or warranty protection for a fee.

#### 5. Conveying Modified Source Versions.

You may convey a work based on the Program, or the modifications to produce it from the Program, in the form of source code under the terms of section 4, provided that you also meet all of these conditions:

- a) The work must carry prominent notices stating that you modified it, and giving a relevant date.
- b) The work must carry prominent notices stating that it is released under this License and any conditions added under section 7. This requirement modifies the requirement in section 4 to "keep intact all notices".
- c) You must license the entire work, as a whole, under this License to anyone who comes into possession of a copy. This License will therefore apply, along with any applicable section 7 additional terms, to the whole of the work, and all its parts, regardless of how they are packaged. This License

gives no permission to license the work in any other way, but it does not invalidate such permission if you have separately received it.

- d) If the work has interactive user interfaces, each must display Appropriate Legal Notices; however, if the Program has interactive interfaces that do not display Appropriate Legal Notices, your work need not make them do so.

A compilation of a covered work with other separate and independent works, which are not by their nature extensions of the covered work, and which are not combined with it such as to form a larger program, in or on a volume of a storage or distribution medium, is called an “aggregate” if the compilation and its resulting copyright are not used to limit the access or legal rights of the compilation’s users beyond what the individual works permit. Inclusion of a covered work in an aggregate does not cause this License to apply to the other parts of the aggregate.

#### 6. Conveying Non-Source Forms.

You may convey a covered work in object code form under the terms of sections 4 and 5, provided that you also convey the machine-readable Corresponding Source under the terms of this License, in one of these ways:

- a) Convey the object code in, or embodied in, a physical product (including a physical distribution medium), accompanied by the Corresponding Source fixed on a durable physical medium customarily used for software interchange.
- b) Convey the object code in, or embodied in, a physical product (including a physical distribution medium), accompanied by a written offer, valid for at least three years and valid for as long as you offer spare parts or customer support for that product model, to give anyone who possesses the object code either (1) a copy of the Corresponding Source for all the software in the product that is covered by this License, on a durable physical medium customarily used for software interchange, for a price no more than your reasonable cost of physically performing this conveying of source, or (2) access to copy the Corresponding Source from a network server at no charge.
- c) Convey individual copies of the object code with a copy of the written offer to provide the Corresponding Source. This alternative is allowed only

occasionally and noncommercially, and only if you received the object code with such an offer, in accord with subsection 6b.

- d) Convey the object code by offering access from a designated place (gratis or for a charge), and offer equivalent access to the Corresponding Source in the same way through the same place at no further charge. You need not require recipients to copy the Corresponding Source along with the object code. If the place to copy the object code is a network server, the Corresponding Source may be on a different server (operated by you or a third party) that supports equivalent copying facilities, provided you maintain clear directions next to the object code saying where to find the Corresponding Source. Regardless of what server hosts the Corresponding Source, you remain obligated to ensure that it is available for as long as needed to satisfy these requirements.
- e) Convey the object code using peer-to-peer transmission, provided you inform other peers where the object code and Corresponding Source of the work are being offered to the general public at no charge under subsection 6d.

A separable portion of the object code, whose source code is excluded from the Corresponding Source as a System Library, need not be included in conveying the object code work.

A “User Product” is either (1) a “consumer product”, which means any tangible personal property which is normally used for personal, family, or household purposes, or (2) anything designed or sold for incorporation into a dwelling. In determining whether a product is a consumer product, doubtful cases shall be resolved in favor of coverage. For a particular product received by a particular user, “normally used” refers to a typical or common use of that class of product, regardless of the status of the particular user or of the way in which the particular user actually uses, or expects or is expected to use, the product. A product is a consumer product regardless of whether the product has substantial commercial, industrial or non-consumer uses, unless such uses represent the only significant mode of use of the product.

“Installation Information” for a User Product means any methods, procedures, authorization keys, or other information required to install and execute modified versions of a covered work in that User Product from a modified version



of its Corresponding Source. The information must suffice to ensure that the continued functioning of the modified object code is in no case prevented or interfered with solely because modification has been made.

If you convey an object code work under this section in, or with, or specifically for use in, a User Product, and the conveying occurs as part of a transaction in which the right of possession and use of the User Product is transferred to the recipient in perpetuity or for a fixed term (regardless of how the transaction is characterized), the Corresponding Source conveyed under this section must be accompanied by the Installation Information. But this requirement does not apply if neither you nor any third party retains the ability to install modified object code on the User Product (for example, the work has been installed in ROM).

The requirement to provide Installation Information does not include a requirement to continue to provide support service, warranty, or updates for a work that has been modified or installed by the recipient, or for the User Product in which it has been modified or installed. Access to a network may be denied when the modification itself materially and adversely affects the operation of the network or violates the rules and protocols for communication across the network.

Corresponding Source conveyed, and Installation Information provided, in accord with this section must be in a format that is publicly documented (and with an implementation available to the public in source code form), and must require no special password or key for unpacking, reading or copying.

## 7. Additional Terms.

“Additional permissions” are terms that supplement the terms of this License by making exceptions from one or more of its conditions. Additional permissions that are applicable to the entire Program shall be treated as though they were included in this License, to the extent that they are valid under applicable law. If additional permissions apply only to part of the Program, that part may be used separately under those permissions, but the entire Program remains governed by this License without regard to the additional permissions.

When you convey a copy of a covered work, you may at your option remove any additional permissions from that copy, or from any part of it. (Additional permissions may be written to require their own removal in certain cases when

you modify the work.) You may place additional permissions on material, added by you to a covered work, for which you have or can give appropriate copyright permission.

Notwithstanding any other provision of this License, for material you add to a covered work, you may (if authorized by the copyright holders of that material) supplement the terms of this License with terms:

- a)* Disclaiming warranty or limiting liability differently from the terms of sections 15 and 16 of this License; or
- b)* Requiring preservation of specified reasonable legal notices or author attributions in that material or in the Appropriate Legal Notices displayed by works containing it; or
- c)* Prohibiting misrepresentation of the origin of that material, or requiring that modified versions of such material be marked in reasonable ways as different from the original version; or
- d)* Limiting the use for publicity purposes of names of licensors or authors of the material; or
- e)* Declining to grant rights under trademark law for use of some trade names, trademarks, or service marks; or
- f)* Requiring indemnification of licensors and authors of that material by anyone who conveys the material (or modified versions of it) with contractual assumptions of liability to the recipient, for any liability that these contractual assumptions directly impose on those licensors and authors.

All other non-permissive additional terms are considered “further restrictions” within the meaning of section 10. If the Program as you received it, or any part of it, contains a notice stating that it is governed by this License along with a term that is a further restriction, you may remove that term. If a license document contains a further restriction but permits relicensing or conveying under this License, you may add to a covered work material governed by the terms of that license document, provided that the further restriction does not survive such relicensing or conveying.

If you add terms to a covered work in accord with this section, you must place, in the relevant source files, a statement of the additional terms that apply to those files, or a notice indicating where to find the applicable terms.

Additional terms, permissive or non-permissive, may be stated in the form of a separately written license, or stated as exceptions; the above requirements apply either way.

8. Termination.

You may not propagate or modify a covered work except as expressly provided under this License. Any attempt otherwise to propagate or modify it is void, and will automatically terminate your rights under this License (including any patent licenses granted under the third paragraph of section 11).

However, if you cease all violation of this License, then your license from a particular copyright holder is reinstated (a) provisionally, unless and until the copyright holder explicitly and finally terminates your license, and (b) permanently, if the copyright holder fails to notify you of the violation by some reasonable means prior to 60 days after the cessation.

Moreover, your license from a particular copyright holder is reinstated permanently if the copyright holder notifies you of the violation by some reasonable means, this is the first time you have received notice of violation of this License (for any work) from that copyright holder, and you cure the violation prior to 30 days after your receipt of the notice.

Termination of your rights under this section does not terminate the licenses of parties who have received copies or rights from you under this License. If your rights have been terminated and not permanently reinstated, you do not qualify to receive new licenses for the same material under section 10.

9. Acceptance Not Required for Having Copies.

You are not required to accept this License in order to receive or run a copy of the Program. Ancillary propagation of a covered work occurring solely as a consequence of using peer-to-peer transmission to receive a copy likewise does not require acceptance. However, nothing other than this License grants you permission to propagate or modify any covered work. These actions infringe copyright if you do not accept this License. Therefore, by modifying or propagating a covered work, you indicate your acceptance of this License to do so.

10. Automatic Licensing of Downstream Recipients.

Each time you convey a covered work, the recipient automatically receives a license from the original licensors, to run, modify and propagate that work, subject to this License. You are not responsible for enforcing compliance by third parties with this License.

An “entity transaction” is a transaction transferring control of an organization, or substantially all assets of one, or subdividing an organization, or merging organizations. If propagation of a covered work results from an entity transaction, each party to that transaction who receives a copy of the work also receives whatever licenses to the work the party’s predecessor in interest had or could give under the previous paragraph, plus a right to possession of the Corresponding Source of the work from the predecessor in interest, if the predecessor has it or can get it with reasonable efforts.

You may not impose any further restrictions on the exercise of the rights granted or affirmed under this License. For example, you may not impose a license fee, royalty, or other charge for exercise of rights granted under this License, and you may not initiate litigation (including a cross-claim or counterclaim in a lawsuit) alleging that any patent claim is infringed by making, using, selling, offering for sale, or importing the Program or any portion of it.

#### 11. Patents.

A “contributor” is a copyright holder who authorizes use under this License of the Program or a work on which the Program is based. The work thus licensed is called the contributor’s “contributor version”.

A contributor’s “essential patent claims” are all patent claims owned or controlled by the contributor, whether already acquired or hereafter acquired, that would be infringed by some manner, permitted by this License, of making, using, or selling its contributor version, but do not include claims that would be infringed only as a consequence of further modification of the contributor version. For purposes of this definition, “control” includes the right to grant patent sublicenses in a manner consistent with the requirements of this License.

Each contributor grants you a non-exclusive, worldwide, royalty-free patent license under the contributor’s essential patent claims, to make, use, sell, offer for sale, import and otherwise run, modify and propagate the contents of its contributor version.

In the following three paragraphs, a “patent license” is any express agreement or commitment, however denominated, not to enforce a patent (such as an express permission to practice a patent or covenant not to sue for patent infringement). To “grant” such a patent license to a party means to make such an agreement or commitment not to enforce a patent against the party.

If you convey a covered work, knowingly relying on a patent license, and the Corresponding Source of the work is not available for anyone to copy, free of charge and under the terms of this License, through a publicly available network server or other readily accessible means, then you must either (1) cause the Corresponding Source to be so available, or (2) arrange to deprive yourself of the benefit of the patent license for this particular work, or (3) arrange, in a manner consistent with the requirements of this License, to extend the patent license to downstream recipients. “Knowingly relying” means you have actual knowledge that, but for the patent license, your conveying the covered work in a country, or your recipient’s use of the covered work in a country, would infringe one or more identifiable patents in that country that you have reason to believe are valid.

If, pursuant to or in connection with a single transaction or arrangement, you convey, or propagate by procuring conveyance of, a covered work, and grant a patent license to some of the parties receiving the covered work authorizing them to use, propagate, modify or convey a specific copy of the covered work, then the patent license you grant is automatically extended to all recipients of the covered work and works based on it.

A patent license is “discriminatory” if it does not include within the scope of its coverage, prohibits the exercise of, or is conditioned on the non-exercise of one or more of the rights that are specifically granted under this License. You may not convey a covered work if you are a party to an arrangement with a third party that is in the business of distributing software, under which you make payment to the third party based on the extent of your activity of conveying the work, and under which the third party grants, to any of the parties who would receive the covered work from you, a discriminatory patent license (a) in connection with copies of the covered work conveyed by you (or copies made from those copies), or (b) primarily for and in connection with specific products or compilations that contain the covered work, unless you entered

into that arrangement, or that patent license was granted, prior to 28 March 2007.

Nothing in this License shall be construed as excluding or limiting any implied license or other defenses to infringement that may otherwise be available to you under applicable patent law.

12. No Surrender of Others' Freedom.

If conditions are imposed on you (whether by court order, agreement or otherwise) that contradict the conditions of this License, they do not excuse you from the conditions of this License. If you cannot convey a covered work so as to satisfy simultaneously your obligations under this License and any other pertinent obligations, then as a consequence you may not convey it at all. For example, if you agree to terms that obligate you to collect a royalty for further conveying from those to whom you convey the Program, the only way you could satisfy both those terms and this License would be to refrain entirely from conveying the Program.

13. Use with the GNU Affero General Public License.

Notwithstanding any other provision of this License, you have permission to link or combine any covered work with a work licensed under version 3 of the GNU Affero General Public License into a single combined work, and to convey the resulting work. The terms of this License will continue to apply to the part which is the covered work, but the special requirements of the GNU Affero General Public License, section 13, concerning interaction through a network will apply to the combination as such.

14. Revised Versions of this License.

The Free Software Foundation may publish revised and/or new versions of the GNU General Public License from time to time. Such new versions will be similar in spirit to the present version, but may differ in detail to address new problems or concerns.

Each version is given a distinguishing version number. If the Program specifies that a certain numbered version of the GNU General Public License "or any later version" applies to it, you have the option of following the terms and conditions either of that numbered version or of any later version published by the Free Software Foundation. If the Program does not specify a version

number of the GNU General Public License, you may choose any version ever published by the Free Software Foundation.

If the Program specifies that a proxy can decide which future versions of the GNU General Public License can be used, that proxy's public statement of acceptance of a version permanently authorizes you to choose that version for the Program.

Later license versions may give you additional or different permissions. However, no additional obligations are imposed on any author or copyright holder as a result of your choosing to follow a later version.

15. Disclaimer of Warranty.

THERE IS NO WARRANTY FOR THE PROGRAM, TO THE EXTENT PERMITTED BY APPLICABLE LAW. EXCEPT WHEN OTHERWISE STATED IN WRITING THE COPYRIGHT HOLDERS AND/OR OTHER PARTIES PROVIDE THE PROGRAM "AS IS" WITHOUT WARRANTY OF ANY KIND, EITHER EXPRESSED OR IMPLIED, INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, THE IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. THE ENTIRE RISK AS TO THE QUALITY AND PERFORMANCE OF THE PROGRAM IS WITH YOU. SHOULD THE PROGRAM PROVE DEFECTIVE, YOU ASSUME THE COST OF ALL NECESSARY SERVICING, REPAIR OR CORRECTION.

16. Limitation of Liability.

IN NO EVENT UNLESS REQUIRED BY APPLICABLE LAW OR AGREED TO IN WRITING WILL ANY COPYRIGHT HOLDER, OR ANY OTHER PARTY WHO MODIFIES AND/OR CONVEYS THE PROGRAM AS PERMITTED ABOVE, BE LIABLE TO YOU FOR DAMAGES, INCLUDING ANY GENERAL, SPECIAL, INCIDENTAL OR CONSEQUENTIAL DAMAGES ARISING OUT OF THE USE OR INABILITY TO USE THE PROGRAM (INCLUDING BUT NOT LIMITED TO LOSS OF DATA OR DATA BEING RENDERED INACCURATE OR LOSSES SUSTAINED BY YOU OR THIRD PARTIES OR A FAILURE OF THE PROGRAM TO OPERATE WITH ANY OTHER PROGRAMS), EVEN IF SUCH HOLDER OR OTHER PARTY HAS BEEN ADVISED OF THE POSSIBILITY OF SUCH DAMAGES.

17. Interpretation of Sections 15 and 16.

If the disclaimer of warranty and limitation of liability provided above cannot be given local legal effect according to their terms, reviewing courts shall apply local law that most closely approximates an absolute waiver of all civil liability in connection with the Program, unless a warranty or assumption of liability accompanies a copy of the Program in return for a fee.

## END OF TERMS AND CONDITIONS

### How to Apply These Terms to Your New Programs

If you develop a new program, and you want it to be of the greatest possible use to the public, the best way to achieve this is to make it free software which everyone can redistribute and change under these terms.

To do so, attach the following notices to the program. It is safest to attach them to the start of each source file to most effectively state the exclusion of warranty; and each file should have at least the “copyright” line and a pointer to where the full notice is found.

```
<one line to give the program's name and a brief idea of what it does.>
```

```
Copyright (C) <textyear> <name of author>
```

```
This program is free software: you can redistribute it and/or modify  
it under the terms of the GNU General Public License as published by  
the Free Software Foundation, either version 3 of the License, or  
(at your option) any later version.
```

```
This program is distributed in the hope that it will be useful,  
but WITHOUT ANY WARRANTY; without even the implied warranty of  
MERCHANTABILITY or FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. See the  
GNU General Public License for more details.
```

```
You should have received a copy of the GNU General Public License  
along with this program. If not, see <http://www.gnu.org/licenses/>.
```

Also add information on how to contact you by electronic and paper mail.

If the program does terminal interaction, make it output a short notice like this when it starts in an interactive mode:



```
<program> Copyright (C) <year> <name of author>
```

```
This program comes with ABSOLUTELY NO WARRANTY; for details type `show w'.  
This is free software, and you are welcome to redistribute it  
under certain conditions; type `show c' for details.
```

The hypothetical commands `show w` and `show c` should show the appropriate parts of the General Public License. Of course, your program's commands might be different; for a GUI interface, you would use an "about box".

You should also get your employer (if you work as a programmer) or school, if any, to sign a "copyright disclaimer" for the program, if necessary. For more information on this, and how to apply and follow the GNU GPL, see <http://www.gnu.org/licenses/>.

The GNU General Public License does not permit incorporating your program into proprietary programs. If your program is a subroutine library, you may consider it more useful to permit linking proprietary applications with the library. If this is what you want to do, use the GNU Lesser General Public License instead of this License. But first, please read <http://www.gnu.org/philosophy/why-not-lgpl.html>.

**PASO DE COORDENDAS ETRS89 A ITRF2005**

# Memo : Specifications for reference frame fixing in the analysis of a EU-REF GPS campaign

Claude Boucher and Zuheir Altamimi

Version 1 : 30-09-1993  
Version 2 : 07-03-1995  
Version 3 : 10-02-1997  
Version 4 : 08-01-1998  
Version 5 : 12-04-2001  
Version 6 : 27-03-2007  
Version 7 : 24-10-2008

## 1. Introduction

The goal is to process GPS data in the commonly adopted ETRS89 system and taking full benefit of most recent fiducials or GPS ephemerides as provided by IGS.

Basic principles has been agreed by the TWG to define the procedure described below. They can be summarized according to this way:

1. to take full benefit of the successively improved realizations of the IERS Terrestrial Reference System (ITRS), known as  $ITRF_{YY}$  (published in the IERS Annual Report for YY). This realization consists into a list of points (station references or markers) together with:

- positions at epoch  $t_0$ ,  $X_{YY}^I(t_0)$
- velocities  $\dot{X}_{YY}^I$

so that the position of a point at epoch  $t$  will be :

$$X_{YY}^I(t) = X_{YY}^I(t_0) + \dot{X}_{YY}^I \cdot (t - t_0)$$

2. to accept that the general model for transformation from a system A to a system B will be:

$$\begin{pmatrix} X_B \\ Y_B \\ Z_B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_A \\ Y_A \\ Z_A \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} T1_{A,B} \\ T2_{A,B} \\ T3_{A,B} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} D_{A,B} & -R3_{A,B} & R2_{A,B} \\ R3_{A,B} & D_{A,B} & -R1_{A,B} \\ -R2_{A,B} & R1_{A,B} & D_{A,B} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_A \\ Y_A \\ Z_A \end{pmatrix}$$

where the transformation parameters can be linearly dependent of time. So, for a transformation parameter P, we have: .

$$P_{A,B}(t) = P_{A,B}(t_0) + \dot{P}_{A,B} \times (t - t_0)$$

3. to accept that any new frame validated by the TWG would have minimum systematic shift with regard to the EUREF89 frame, but would stick to its own scale especially if it is significantly more accurate than the scale underlying EUREF89.

In addition to these principles, the fulfilment of the Bern Resolution concerning ETRS89 should be clearly realized.

## 2. Specifications for realizations derived from ITRF

As previously described (Boucher and Altamimi, 1992), one can derive from each annual frame determined by IERS under the label  $ITRF_{YY}$ , a corresponding frame in ETRS89, which will be itself labelled  $ETRF_{YY}$ .

The detailed specifications to establish  $ETRF_{YY}$  are:

### 1. Selection of points

All points corresponding to sites belonging to ITRF and located in Europe (nominally up to Oural) will be selected.

Occasionally additional markers or points can be added (RETRIG markers, new GPS tracking, other systems such as DORIS or PRARE...) if local eccentricities are available between it and some point already existing in ITRF.

### 2. Coordinates and velocities

These values are obtained as the following:

- (a) compute at 89.0 in ITRS

$$X_{YY}^I(89.0) = X_{YY}^I(t_0) + \dot{X}_{YY}^I \times (89.0 - t_0)$$

- (b) compute in ETRS at 89.0:

$$\begin{pmatrix} X_{YY}^E(89.0) \\ Y_{YY}^E(89.0) \\ Z_{YY}^E(89.0) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_{YY}^I(89.0) \\ Y_{YY}^I(89.0) \\ Z_{YY}^I(89.0) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} T1_{YY} \\ T2_{YY} \\ T3_{YY} \end{pmatrix}$$

where  $T_{YY}$  is given in Appendix 1.

- (c) compute velocity in ETRS:

$$\begin{pmatrix} \dot{X}_{YY}^E \\ \dot{Y}_{YY}^E \\ \dot{Z}_{YY}^E \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \dot{X}_{YY}^I \\ \dot{Y}_{YY}^I \\ \dot{Z}_{YY}^I \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & -\dot{R}3_{YY} & \dot{R}2_{YY} \\ \dot{R}3_{YY} & 0 & -\dot{R}1_{YY} \\ -\dot{R}2_{YY} & \dot{R}1_{YY} & 0 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} X_{YY}^I \\ Y_{YY}^I \\ Z_{YY}^I \end{pmatrix}$$

where  $\dot{R}_{YY}$  is given in Appendix 2.

### 3. Specifications to compute a EUREF GPS campaign in ETRS 89

Given a set of GPS measurements referred to a central epoch  $t_c$ , the procedure will be:

**1.** process data in ITRS at epoch  $t_c$ . For that purpose, use recent  $ITRF_{YY}$ . If IGS ephemerides are used, take the  $YY$  corresponding to the one used by IGS to generate the ephemerides. The stations used for GPS tracking during this campaign and for which accurate (cm level) coordinates are available in  $ITRF_{YY}$  should be constrained to the values:

$$X_{YY}^I(t_c) = X_{YY}^I(t_0) + \dot{X}_{YY}^I \times (t_c - t_0)$$

The results are then all consistent with  $ITRF_{YY}$  at epoch  $t_c$ .

**2.** convert in ETRS89 at  $t_c$ . There are two possible cases to express ITRS coordinates in ETRS89 at epoch  $t_c$ :

**2a.** GPS data are processed in ITRF<sub>yy</sub> (e.g. ITRF97) and the target ETRS89 frame is ETRF<sub>yy</sub> (e.g. ETRF97). In this case the following equation should be used:

$$X^E(t_c) = X_{YY}^I(t_c) + T_{YY} + \begin{pmatrix} 0 & -\dot{R}_{3YY} & \dot{R}_{2YY} \\ \dot{R}_{3YY} & 0 & -\dot{R}_{1YY} \\ -\dot{R}_{2YY} & \dot{R}_{1YY} & 0 \end{pmatrix} \times X_{YY}^I(t_c) \cdot (t_c - 1989.0)$$

The estimation procedure of  $T_{YY}$  is described in Appendix 1 and of  $\dot{R}_{YY}$  in Appendix 2. The corresponding values are listed in Table 3 and 4 of Appendix 3.

**2b.** GPS data are processed in ITRF<sub>yy</sub> (e.g. ITRF2005) and the target ETRS89 frame is ETRF<sub>xx</sub> (e.g. ETRF93). In this case two-step procedure should be applied:

1. Transform ITRF<sub>yy</sub> coordinates at  $t_c$  into ITRF<sub>xx</sub> using the IERS/ITRF published values which could be derived from Table 1 and 2 of this memo;
2. Use the case **(2a)** formula above allowing to transform from ITRF<sub>xx</sub> to ETRF<sub>xx</sub>.

Note that the above two-step procedure could be replaced by one-step procedure using 14-transformation parameters as described in the following chapter.

In the context of a GPS campaign, it is no longer recommended to propagate the station coordinates by means of whatever intra plate velocities to other epoch than the central epoch  $t_c$  of the used observations.

### 4. TWG Recommendation

In order to harmonize future realizations of the ETRS89 overall Europe, the EUREF Technical Working Group (TWG) recommends not to use the ETRF2005 and rather to adopt the ETRF2000 as a conventional frame of the ETRS89 system. This decision was taken by the TWG, noticing that coordinate shifts at epochs posterior to 1989.0 occur between ETRF<sub>yy</sub> frames which are originally due to equivalent shifts between the global ITRF frames. This is the example of coordinate shifts at epochs posterior to 1989.0 between ETRF2000 and

ETRF2005. These shifts are due, mainly, to the Z-translation rate of 1.8 mm/yr between ITRF2000 and ITRF2005 as well as to the refined rotation rate values ( $\dot{R}_{YY}$ ) listed in Table 4. Therefore the adoption of the ETRF2000 as a conventional frame of the ETRS89 realization will minimize the coordinate shifts at epochs posterior to 1989.0 between different implementations of the ETRS89 in different European countries. Consequently, the European countries who will adopt the ETRS89 or want to redefine their national systems are encouraged to adopt the ETRF2000 frame and to express their station coordinates in that frame. The general procedure consists of two-step transformation:

- Transform ITRF<sub>yy</sub> coordinates at the central epoch of the used observations into ITRF2000 using the IERS/ITRF published values which could be derived from Table 1 and 2 of this memo;
- Use the usual transformation formula of this memo allowing to transform from ITRF2000 to ETRF2000.

In fact the two-step transformation procedure could be performed in one step using 14 transformation parameters. Table 5 lists as an example these 14 parameters to be used when transforming ITRF2005 into ETRF2000. These parameters were computed by the summation of the transformation ITRF2005-To-ITRF2000 and ITRF2000-To-ETRF2000. The transformation ITRF2000-To-ETRF2000 consists of the translation parameters which are taken from Table 3 of this memo and the rotation rates from Table 4, whereas the rotation parameters at epoch 2000.0 are computed by multiplying the rotation rates by 11, i.e. (2000.0 - 1989.0). The user should be aware that the transformation parameters listed in Table 5 are expressed at epoch 2000.0. Since the transformation should be performed at the central epoch ( $t_c$ ) of the used observations, then these transformation parameters should be propagated at epoch  $t_c$ , using:

$$P(t_c) = P(2000.0) + \dot{P} \cdot (t_c - 2000.0)$$

where  $\dot{P}$  designates the rate of any one of the 7 parameters. Therefore the 7 parameters propagated at epoch  $t_c$  should be used to transform GPS coordinates from ITRF2005 to ETRF2000.

Moreover, in order to benefit from the ITRF2005 solution, the TWG has also recommended that all European stations coordinates (GPS, VLBI, SLR and DORIS) which are available in the ITRF2005 to be expressed in the ETRF2000 frame and to call the resulting set of coordinates (positions and velocities) ETRF2000(R05). This list as well as previous ETRF<sub>yy</sub> lists are available at:

<ftp://itrf.ensg.ign.fr/pub/euref/>

It should be noted that this general two-step (or 14 parameter transformation) procedure could be applied to any other ETRF<sub>yy</sub> instead of ETRF2000. For instance, if a country has adopted ETRF93 and for legal reasons wants to stick to that frame, then their GPS station coordinates expressed in recent ITRF version (say ITRF2005) should first be transformed in ITRF93 and subsequently transformed in ETRF93 using the formula of this memo.

## 5. Appendix 1: Estimation of shift $T_{YY}$

Two solutions are available:

A) use estimated global offsets between successive ITRF<sub>YY</sub>. Table 1 gives the parameters from YY to 89 at epoch  $t_0$ , and Table 2 their secular changes.

If we define  $\bar{X}$  as the barycenter of the ETRF89 network, then the transformation parameters at 89.0 are:

$$T_{YY,89} = T_{YY,89}(t_0) + \dot{T}_{YY,89} \times (89.0 - t_0)$$

$$D_{YY,89} = D_{YY,89}(t_0) + \dot{D}_{YY,89} \times (89.0 - t_0)$$

$$R_{YY,89} = R_{YY,89}(t_0) + \dot{R}_{YY,89} \times (89.0 - t_0)$$

and the equivalent shift is:

$$T_{YY} = T_{YY,89} + \begin{pmatrix} D_{YY,89} & -R_{3YY,89} & R_{2YY,89} \\ R_{3YY,89} & D_{YY,89} & -R_{1YY,89} \\ -R_{2YY,89} & R_{1YY,89} & D_{YY,89} \end{pmatrix} \bar{X}$$

B) compute shift on ETRF89 stations. Compute  $T_{YY}$  by a 3 parameters fit between  $X_{89}^E(89.0)$  (or EUREF 89 values) and  $X_{YY}^I(89.0)$

Table 3 gives the estimations of  $T_{YY}$  according to A and B. Since the two estimations are equivalent regarding the error bars, we recommend the use of case A values.

## 6. Appendix 2: Estimation of $\dot{R}_{YY}$

Since the associated velocity fields of ITRF89 and ITRF90 are computed using AM0-2 model (Minster and Jordan, 1978),  $\dot{R}_{YY}$  will be the angular velocity of the Eurasian plate in this model.

On the other hand there are two estimated velocity fields associated with ITRF91 and ITRF92 respectively. In these two frames, the orientation time evolution was ensured by aligning the corresponding velocity fields to NNR-NUVEL-1 model (Argus et Gordon, 1991, De Mets et al, 1990). So for 91 and 92,  $\dot{R}_{YY}$  corresponds, conventionally, to the angular velocity of the Eurasian plate in NNR-NUVEL-1 model.

The more recent geophysical model NNR-NUVEL-1A (DeMets et al, 1994) has been used as reference in the ITRF93 velocity field computation. It should be noted that there is a rotation rate between the ITRF93 velocity field and the NNR-NUVEL-1A model (Boucher et al, 1994). Consequently for 93,  $\dot{R}_{YY}$  corresponds to the angular velocity of the Eurasian plate in NNR-NUVEL-1A model to which we added the rotation rate between the ITRF93 velocity field and the NNR-NUVEL-1A model.

As the time evolution of the ITRF94 is consistent with the model NNR-NUVEL-1A (Boucher et al, 1996), then the  $\dot{R}_{YY}$  corresponds, conventionally, to the angular velocity of the Eurasian plate in this model.

The reference frame definition (origin, scale, orientation and time evolution) of the ITRF96 is achieved in such a way that ITRF96 is in the same system as ITRF94 (Boucher et al, 1998). Consequently,  $\dot{R}_{YY}$  is the same as for ITRF94. This same statement is also valid for ITRF97.

For the first time, the ITRF2000 combines individual solutions that are free from any plate motion model. Its origin is defined by a weighted average of most consistent SLR solutions. Its scale is defined by most consistent SLR and VLBI solutions. Its orientations is aligned to the ITRF97 at epoch 1997.0 and its orientation rate follows, conventionally, that of

NNR-NUVEL-1A model. The ITRF2000 velocity field was used to estimate angular velocities of 6 major plates, including Eurasia, showing significant disagreement with NUVEL-1A predictions. It is therefore recommended to use for  $\dot{R}_{YY}$  the components of the Eurasian angular velocity estimated from ITRF2000 velocities of 19 European sites of high geodetic quality. For more details, see (Altamimi et al., 2002). Using a velocity field of 152 sites of high quality extracted from the ITRF2005 solution (Altamimi et al., 2007), absolute rotation poles of 15 tectonic plates (including Eurasia) were estimated. The components of the Eurasia plate rotation pole are those corresponding to the values of  $\dot{R}_{YY}$  listed in Table 4 to be used in the transformation from ITRF2005 to ETRF2005.



## 7. Appendix 3: Tables

**Table 1:** Transformation parameters from  $ITRF_{YY}$  to ITRF89

| From     | T1<br>cm | T2<br>cm | T3<br>cm | D<br>$10^{-8}$ | R1<br>mas | R2<br>mas | R3<br>mas | $t_0$<br>y | Ref.<br>IERS TN |
|----------|----------|----------|----------|----------------|-----------|-----------|-----------|------------|-----------------|
| ITRF90   | 0.5      | 2.4      | -3.8     | 0.34           | 0.0       | 0.0       | 0.0       | 88.0       | 9               |
| ITRF91   | 0.6      | 2.0      | -5.4     | 0.37           | 0.0       | 0.0       | 0.0       | 88.0       | 12              |
| ITRF92   | 1.7      | 3.4      | -6.0     | 0.51           | 0.0       | 0.0       | 0.0       | 88.0       | 15              |
| ITRF93   | 1.9      | 4.1      | -5.3     | 0.39           | 0.39      | -0.80     | 0.96      | 88.0       | 18              |
| ITRF94   | 2.3      | 3.6      | -6.8     | 0.43           | 0.0       | 0.0       | 0.0       | 88.0       | 21              |
| ITRF96   | 2.3      | 3.6      | -6.8     | 0.43           | 0.0       | 0.0       | 0.0       | 88.0       | 24              |
| ITRF97   | 2.3      | 3.6      | -6.8     | 0.43           | 0.0       | 0.0       | 0.0       | 88.0       | 27              |
| ITRF2000 | 3.0      | 4.2      | -8.7     | 0.59           | 0.0       | 0.0       | 0.0       | 97.0       |                 |
| ITRF2005 | 3.0      | 3.9      | -9.7     | 0.63           | 0.0       | 0.0       | 0.06      | 00.0       |                 |

**Table 2:** Rates of change of the transformation parameters from  $ITRF_{YY}$  to ITRF89

| From     | $\dot{T}1$<br>cm/y | $\dot{T}2$<br>cm/y | $\dot{T}3$<br>cm/y | $\dot{D}$<br>$10^{-8}/y$ | $\dot{R}1$<br>mas/y | $\dot{R}2$<br>mas/y | $\dot{R}3$<br>mas/y | Ref.<br>IERS TN |
|----------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-----------------|
| ITRF90   | 0.0                | 0.0                | 0.0                | 0.0                      | 0.0                 | 0.0                 | 0.0                 |                 |
| ITRF91   | 0.0                | 0.0                | 0.0                | 0.0                      | 0.0                 | 0.0                 | 0.0                 |                 |
| ITRF92   | 0.0                | 0.0                | 0.0                | 0.0                      | 0.0                 | 0.0                 | 0.0                 |                 |
| ITRF93   | 0.29               | -0.04              | -0.08              | 0.0                      | 0.11                | 0.19                | -0.05               | 18              |
| ITRF94   | 0.0                | 0.0                | 0.0                | 0.0                      | 0.0                 | 0.0                 | 0.0                 | 21              |
| ITRF96   | 0.0                | 0.0                | 0.0                | 0.0                      | 0.0                 | 0.0                 | 0.0                 | 24              |
| ITRF97   | 0.0                | 0.0                | 0.0                | 0.0                      | 0.0                 | 0.0                 | 0.0                 | 27              |
| ITRF2000 | 0.0                | -0.06              | -0.14              | 0.0                      | 0.0                 | 0.0                 | 0.02                |                 |
| ITRF2005 | -0.02              | -0.05              | -0.32              | 0.008                    | 0.0                 | 0.0                 | 0.02                |                 |

**Table 3:** Estimation of  $T_{YY}$

| YY |       | T1<br>cm | T2<br>cm | T3<br>cm |
|----|-------|----------|----------|----------|
| 89 |       | 0        | 0        | 0        |
| 90 | A     | 1.9      | 2.8      | -2.3     |
|    | B     | 2.6      | 2.5      | -2.6     |
|    | $\pm$ | 0.7      | 0.7      | 0.7      |
| 91 | A     | 2.1      | 2.5      | -3.7     |
|    | B     | 2.3      | 2.1      | -3.1     |
|    | $\pm$ | 0.7      | 0.7      | 0.7      |
| 92 | A     | 3.8      | 4.0      | -3.7     |
|    | B     | 4.3      | 3.4      | -3.2     |
|    | $\pm$ | 0.8      | 0.8      | 0.8      |
| 93 | A     | 1.9      | 5.3      | -2.1     |
|    | B     | 1.0      | 5.9      | -1.4     |
|    | $\pm$ | 0.5      | 0.5      | 0.6      |

**Table 3 :** (cont'd)

|     |       |     |     |      |
|-----|-------|-----|-----|------|
| 94  | A     | 4.1 | 4.1 | -4.9 |
|     | B     | 2.9 | 4.3 | -3.6 |
|     | $\pm$ | 0.4 | 0.5 | 0.5  |
| 96  | A     | 4.1 | 4.1 | -4.9 |
|     | B     | 3.9 | 4.1 | -3.9 |
|     | $\pm$ | 0.4 | 0.4 | 0.4  |
| 97  | A     | 4.1 | 4.1 | -4.9 |
|     | B     | 3.4 | 4.4 | -4.3 |
|     | $\pm$ | 0.4 | 0.4 | 0.4  |
| 00  | A     | 5.4 | 5.1 | -4.8 |
|     | B     | 4.2 | 5.1 | -4.6 |
|     | $\pm$ | 0.4 | 0.4 | 0.4  |
| 05* | A     | 5.6 | 4.8 | -3.7 |
|     | B     | 3.6 | 4.2 | -4.1 |
|     | $\pm$ | 0.4 | 0.4 | 0.4  |

\* See TWG recommendation in §4

**Table 4:** Estimation of  $\dot{R}_{YY}$ 

| YY  | $\dot{R}1$<br>mas/y | $\dot{R}2$<br>mas/y | $\dot{R}3$<br>mas/y |
|-----|---------------------|---------------------|---------------------|
| 89  | 0.11                | 0.57                | -0.71               |
| 90  | 0.11                | 0.57                | -0.71               |
| 91  | 0.21                | 0.52                | -0.68               |
| 92  | 0.21                | 0.52                | -0.68               |
| 93  | 0.32                | 0.78                | -0.67               |
| 94  | 0.20                | 0.50                | -0.65               |
| 96  | 0.20                | 0.50                | -0.65               |
| 97  | 0.20                | 0.50                | -0.65               |
| 00  | 0.081               | 0.490               | -0.792              |
|     | $\pm 0.021$         | $\pm 0.008$         | $\pm 0.026$         |
| 05* | 0.054               | 0.518               | -0.781              |
|     | $\pm 0.009$         | $\pm 0.006$         | $\pm 0.011$         |

\* See TWG recommendation in §4

**Table 5:** Transformation parameters from ITRF2005 to ETRF2000 at epoch 2000.0 and their rates/year

|       | T1<br>mm | T2<br>mm | T3<br>mm | D<br>$10^{-9}$ | R1<br>mas | R2<br>mas | R3<br>mas |
|-------|----------|----------|----------|----------------|-----------|-----------|-----------|
|       | 54.1     | 50.2     | -53.8    | 0.40           | 0.891     | 5.390     | -8.712    |
| Rates | -0.2     | 0.1      | -1.8     | 0.08           | 0.081     | 0.490     | -0.792    |

## References

- Altamimi, Z., P. Sillard and C. Boucher, ITRF2000: A New Release of the International Terrestrial Reference Frame for Earth Science Applications, *J. Geophys. Res.*, 107(B10), 2214, doi:10.1029/2001JB000561, 2002.
- Altamimi, Z., X. Collilieux, J. Legrand, B. Garayt and C. Boucher, ITRF2005: A new release of the International Terrestrial Reference Frame based on time series of station positions and Earth Orientation, *J. Geophys. Res.*, doi:10.1029/2007JB004949, 2007.
- Argus, D.F. and R.G. Gordon, No-net rotation model of current plate velocities incorporating plate motion model NUVEL-1, *Geophys. Res. Lett.* 18, 2038-2042, 1991.
- Boucher, C. and Z. Altamimi, The EUREF Terrestrial Reference System and its first realizations, EUREF Meeting, Bern, Switzerland March 4-6, 1992.
- Boucher, C., Z. Altamimi, ITRF90 and other realizations of the IERS Terrestrial Reference System for 1990, *IERS Technical Note 9*, Observatoire de Paris, 1991.
- Boucher, C., Z. Altamimi and L. Duhem, ITRF91 and its associated velocity field, *IERS Technical Note 12*, Observatoire de Paris, 1992.
- Boucher, C., Z. Altamimi and L. Duhem, ITRF92 and its associated velocity field, *IERS Technical Note 15*, Observatoire de Paris, 1993.
- Boucher, C., Z. Altamimi and L. Duhem, Results and Analysis of the ITRF93, *IERS Technical Note 18*, Observatoire de Paris, 1994.

- Boucher, C., Z. Altamimi, M. Feissel and P. Sillard, Results and Analysis of the ITRF94, *IERS Technical Note 20*, Observatoire de Paris, 1996.
- Boucher, C., Z. Altamimi and P. Sillard, Results and Analysis of the ITRF96, *IERS Technical Note 24*, Observatoire de Paris, 1998.
- Boucher C., Z. Altamimi, and P. Sillard, The 1997 International Terrestrial Reference Frame (ITRF97), *IERS Technical Note 27*, Observatoire de Paris, 1999.
- DeMets, C., R.G. Gordon, D.F. Argus, and S.Stein, Current plate motions. *J. Geophys. Res.*101, 425-478, 1990.
- DeMets, C., R. G. Gordon, D. F. Argus, and S. Stein, Effect of recent revisions of the geomagnetic reversal timescale on estimates of current plate motions, *Geophys. Res. Lett.*21 (20), 2191-2194, 1994.
- McCarthy, D. (Ed.), IERS Standards (1992), *IERS Technical Note 13*, Observatoire de Paris, 1992.
- McCarthy, D. (Ed.), IERS Conventions (1996), *IERS Technical Note 21*, Observatoire de Paris, 1996.
- Minster,B. and T.H. Jordan , Present-day plate motions, *J. Geophys. Res.*83, 5331-5354, 1978.



## Anexo III

---

### A6. Artículos publicados

#### A6.1. "GIS Techniques in Archaeology:An Archaeoastronomical Approach"

# GIS Techniques in Archaeology: An Archaeoastronomical Approach

J. Mejuto<sup>1</sup>, J. Gómez Castaño<sup>2</sup> and G. Rodríguez-Caderot<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Universidad Complutense de Madrid*

<sup>2</sup>*ADIF*

<sup>3</sup>*Universidad Complutense de Madrid  
Spain*

## 1. Introduction

Geographic Information Systems (GIS) has proven to be a very useful tool when it comes to represent the elements of an archaeological site. Geographers initially used these systems as resource management tools (Burrough & McDonell, 1988). A geographic information system is a special case of information systems where the database consists of observations on spatially distributed features, activities or events, which are definable in space as points, lines, polylines, or areas. These datasets are composed by a collection of geographic coordinates (latitude, longitude and altitude) or on an UTM projection (X,Y,Z), relative to a reference Datum and alphanumeric information.

Traditionally, this information has been stored on spatial databases as PostGIS or Oracle Spatial, and they have been transformed using geoprocess techniques to get valuable derived information as DEM (Digital Elevation Models), thematic maps, and other relationship between the elements and the environment.

Nowadays this point of view of GIS as a cataloge technique has been improved and we go ahead to Spatial Data Infrastructure (SDI) (IGN, 2011).

While GIS is a data-driven, SDI is a service-oriented. In an SDI the data resides outside of our computer, and they are distributed across the network. Each layer of data is maintained by the team responsible for its data. In Archeology, the layer of interest are related to the archaeological site in study.

An SDI is composed by a set of technologies that includes data and geographic attributes, with services that allow the visualization of this mapping and the integration with other systems. The goal of this technology is effective share of geographic information avoiding duplication and ensuring the use of a set of basic geographic data, enabling the integration of these sources, maintained by different agencies.

Therefore, a SDI is more than geographic information (GI) stored in a traditional GIS. The GI can be accessed via Internet and it can be used with other data sources, this is where the potential of this technology.

GIS have some advantages comparing to other technologies, for example, data is collected just once and kept where it can be managed most effectively. It is possible to combine seamless

spatial information from different sources across all over the world, sharing it with a huge amount of users and applications. It allows different levels of detail from the same data source; e.g. detailed for regional research or general for strategic purposes.

In European Union, we can find INSPIRE Directive which aims to create a european spatial data infrastructure (EU, 2007). This will develop the sharing of spatial information among public sector organizations activating public access to spatial information across Europe. Globalization and Interoperability are the basis of this technology.

### 1.1 Services offered by an SDI

There are some services that allow mapping visualization and integration with other systems from data and geographic attributes that shapes SDIs. These services are described as standards by the Open Geospatial Consortium (OGC, 2011a). The OGC is an international industry consortium of 438 companies, government agencies and universities participating in a consensus process to develop publicly available interface standards.

These support interoperable solutions, one of the most important objectives of an SDI. Among its objectives are: Facilitate the adoption of open, spatially enabled reference architectures in enterprise environments worldwide. Advance standards in support of the formation of new and innovative markets and applications for geospatial technologies. Accelerate market assimilation of interoperability research through collaborative consortium processes.



Fig. 1. WMS server structure

The standard services provided are WMS, WFS, WCS and CWS. The layers produced by this method represent a big advantage because they can be mixed with other geographic information get from any source. Users just need a thin client to get these services and geographic data remain in the original service provider.

#### 1.1.1 WMS (Web Map Service)

It is the standard for displaying geographic information over the Internet. It provides a picture of the real world for a requested area. The sources may be GIS data files, spatial databases, digital maps, orthophotographies, satellite images and so on.

WMS is organized into one or more layers, which can be displayed or hidden one by one, being able to view information about individual elements of the map. It allows visual overlaying of vector and raster data with different reference systems, coordinates and servers.

Returning, in any case, a raster image in a widely used format, such as PNG, JPG or SVG, to the final user.

WMS specifies three operations (figure 1):

- GetCapabilities: Returns metadata to service level.
- GetMap: Returns a map image when geographical parameters and dimensions have been defined.
- GetFeatureInfo: Returns information with particular features shown on map.

### 1.1.2 WFS (Web Feature Service)

This is the standard that allows accessing and viewing to all the attributes of a spatial element, called feature, represented in vector mode, which geometry is described by a set of coordinates.

WFS specifies three operations:

- GetCapabilities: Retrieves the formal description or metadata of the service to determine available options.
- GetFeature: Performs the actual query by means of parameters such as bounding box and any other filters. The result is a group of data that contains geometry and associated alphanumeric data.
- DescribeFeatureType: Retrieves the XML schema to allow the WFS client to parse the resultsets.

The data are provided in GML format (another OGC standard). A WFS allows not only to display the information as permitted by a WMS, but also the free view and download of the complete dataset.

### 1.1.3 WCS (Web Coverage Service)

Sometimes, geographical information is composed of values or properties describing spatial locations by means of a system of geographic coordinates, this is the so called Coverage. The GI can also contain temporary, regular or irregularly spaced information, as happens representing a Digital Elevation Model (DEM). The OGC defines Web Coverage Service to enable the recovery of geospatial data in the form of digital spatial geographic information coverages that represent phenomena of spatial variation in a representative way or as input data for scientific models.

This service is useful to consult digital elevation models and to calculate horizon lines. Operations defined in a WCS are:

- GetCapabilities: Metadata service and coverages offers.
- DescribeCoverage: Detailed description of hedging.
- GetCoverage: Get cover or part of it.

As mentioned, the DEM is the most important coverage in an archaeological SDI. As sources of MDE the recently released ASTER Global Digital Elevation Map (NASA, 2011) can be cited. It is formatted in 1 x 1 degree tiles as GeoTIFF file, covering the Earth's land surface between 83° N and 83° S latitudes, with an accuracy below 10m.



### 1.1.4 CWS (Catalogue Web Service)

The Web Catalog Service (CWS) is defined by the Open Geospatial Consortium (OGC) as interfaces to discover and query metadata about data. It enables requests for a diversity of information in terms of source and theme. These services are implemented using catalogue software as Geonetwork. It allows to discover all kind of IDE services as WMS or WFS using metadata from every service, dataset or layer.

Metadata are data about data. It is information and documentation making geographical data identifiable, understandable and sharable by users and other services. Metadata objectives are:

- Search for data sets, what data exists or are available in a certain area, for a given subject on a scale, a general date or specific features. Due to do this metadata stores information about the data set: what is said, why was prepared, when, who produced it and how, and so on.
- Choice between data sets, to compare different ones, so you can select which ones meet user requirements in a better way for the intended purpose.
- The use, describing technical characteristics of data, in order to allow efficient operation. It helps users both maintaining and updating these data.

Metadata must fulfill ISO 19115:2003 which describes the schema required for describing geographic information and services. This defines:

1. Mandatory and conditional metadata sections, metadata entities, and metadata elements.
2. The minimum set of metadata required to serve the full range of metadata applications (data discovery, determining data fitness for use, data access, data transfer, and use of digital data)
3. Optional metadata elements allowing more extensive standard description of geographical data and if required a method for extending metadata to fit specialized needs.

### 1.2 SDI components

Main SDI components are described in figure 2. These components allow the storage and distribution of geographical information.

- **File datasets.** The most common way to exchange geographical information in archaeology is using files. Sometimes these are open standard but the problem begins when data are stored using a proprietary system. To ensure the availability of data between different services, software and users, data files must achieve OGC standards.  
DWG or DWF generated by AutoCAD, or Shapefiles, an ESRI widely used format are standards of this type. Sometimes a raster image can be used when it has been georeferenced. So we can use geoTIFF images or JPG and JGW files with information about projection, rotation and scale.
- **Spatial Database.** It stores the spatial elements and their attributes (Features). Some products are widespread as PostgreSQL PostGIS, Oracle Spatial or MySQL. These data are stored in tables using spatial indexes. There is a special language to create tables, select, update and delete records. This is Simple Feature Access for SQL (SFSQL) (OGC, 2011b). This allows to get spatial entities and represent them from an unique repository to any software.

- **Map Servers.** Software that allows publication of the maps and provide WMS and WFS services through Internet. Some examples are GeoServer and MapServer. Spatial datasets can be stored in Shapefiles, spatial databases or even georeferenced raster images. The servers allow additional operations such as layers reproduction, very useful in case of working with different reference systems. The different map servers characteristics are shown in table 1.

| Name                  | Language  | WMS | WFS | WCS |
|-----------------------|-----------|-----|-----|-----|
| Spatial Fusion Server | Java/C++  | Yes | Yes | No  |
| ERDAS APOLLO          | Java/C++  | Yes | Yes | Yes |
| ArcGIS Server         | .NET/Java | Yes | Yes | Yes |
| MapServer             | C         | Yes | Yes | Yes |
| Deegree               | Java      | Yes | Yes | Yes |
| GeoServer             | Java      | Yes | Yes | Yes |
| Basic-wms2.py         | Pythom    | Yes | No  | No  |
| Manifold System       | ASP/C#    | Yes | Yes | No  |
| MapLarge API          | C#        | Yes | Yes | No  |
| SpatialFX             | Java      | Yes | No  | No  |
| Orbit EOS             | Java      | Yes | No  | No  |

Table 1. Main map servers. Adapted from OSGEO (OSGEO, 2011)

- **Desktops applications.** Traditional desktop applications that allow the processing of geographic data. In Archeology we are used to use Computer Aided Design (CAD) software such as Autocad to produce the traditional layers. But this can not generate standard information. Therefore, it is recommended to use other programs that generate geographic information in these formats. We have examples like gvSIG, UDig, QGIS or ArcGIS Desktop.
- **Thin Clients.** These applications are usually web clients, which allow viewing a small geographical and managing data from another possible data sources. These clients are created with API like Google Maps or OpenLayers. Its main utility is that can be used embedded in other applications and they can integrate information from different map services, both archaeological and other tematics.

All the elements in a SDI are represented only by a few components: Points, Lines, Polylines, Polygons and Raster data.

## 2. Archaeoastronomy

Since the beginning Archaeoastronomy has been developed by specialists of several and very different disciplines. This, added to the fact that it is a very young scientific branch, has caused a methodological and conceptual disorder. It can be seen, for example, in the variety of Archaeoastronomy definitions: *"Discipline which studies the way that ancient peoples' societies conected with the cosmos, taking into account archaeological, etnogrphical and historical data"* (Cerdeño et al., 2006), *"Discipline which studies the degree of astronomical knowledges of past societies, connected with their vision of the cosmos"* (Belmonte, 2000) and *"Discipline which studies the development of astronomy of prehistoric societies inside their cultural context"* (Esteban, 2003).

Concerning to these lines, perhaps the best definition would be the science that studies the celestial landscape in the past taking into account any cultural data source such as

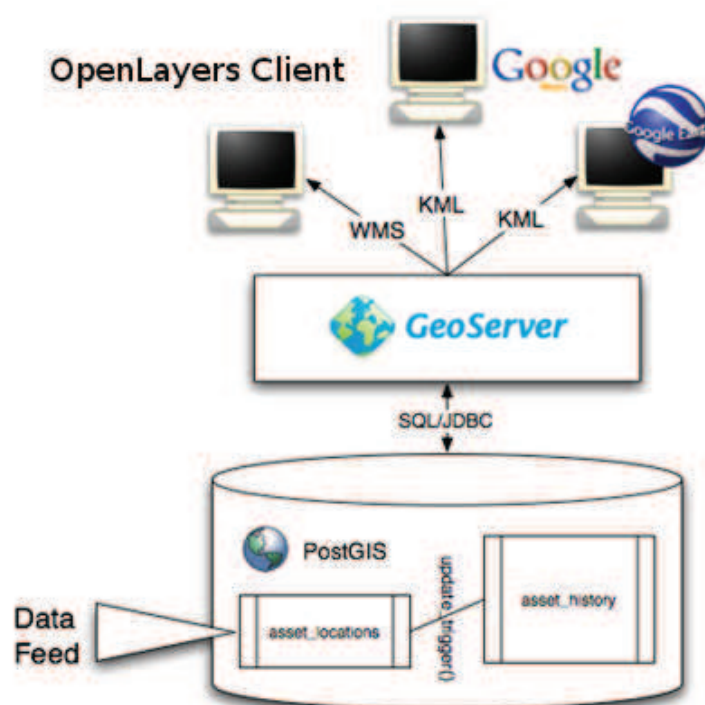


Fig. 2. Main SDI components (GEOSERVER, 2001)

archaeology, antropology, ethnography, historical data and so on. But in order to understand the situation in these days we should take a look of its beginnings.

The very first steps in the discipline were made by the interest of some people about the intentionated orientation of several megalithic monuments. These studies were made in XVIII century by the architect John Wood (Wood, 1747) and the antiquarian William Stukeley (Stukeley, 1740) related to Stonehenge, Callanish, Castle Rigg and Sarsen Circle. With these two first studies begins also two tendencies which remains nowadays. The first one is the predominant importance of megalithic studies in Archaeoastronomy against any other epoch archaeological sites (figure 3). The second tendency is related to the main role that british researchers had in this type of works.

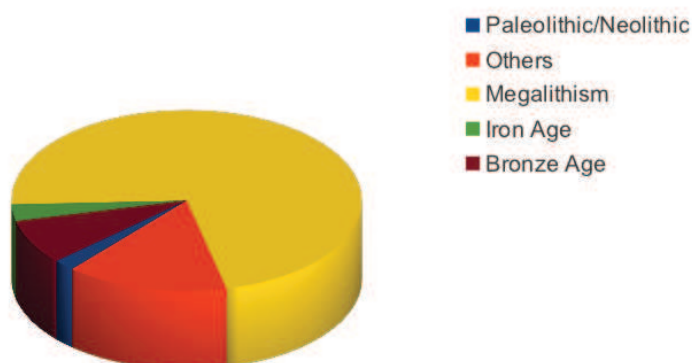


Fig. 3. Archaeoastronomical studies sorted by epoch. Based in (Cerdeño et al., 2006)

After Wood and Stukeley's contributions, the next remarkable work was made after the century change by another antiquarian, A.L. Lewis. It was a recopilation of archaeological sites with probable astronomical signification, which was used and extended by the British Army's Captain H.B. Sommerville and Sir Joseph Norman Lockyer (Lockyer, 1909).

Alexander Thom is considered as the father of the modern Archaeoastronomy. His important publications "The solar observatories of Megalithic Man" (Thom, 1954) and "Megalithic sites in Britain" (Thom, 1967) are essentials in the bibliography. The main contribution of this engineer is applying topographical techniques and mathematical science to the study of different archaeological sites. Thom did not only based his research only in the traditional sites but kept studing only the megalithic ones.

With this new methodological approach the discipline reach to the 80's decade of the XX century. In this period the discipline spread in many european countries in some cases by the hand of researchers as Michael Hoskin and Carlos Jaschek who founded in 1992 the SEAC, (Société européenne pour l'Astronomie dans la Culture/European Society for Astronomy in Culture) to stimulate innovative concepts and methods that would serve to open up new understandings of the many and deep interactions between astronomy and culture. It was almost the only effort to get interdisciplinary works in Archaeoastronomy against traditional separated from archaeology ones.

## 2.1 Archaeoastronomy and Archaeology

The huge gap between natural and social sciences was a problem affecting to archaeoastronomical research, often this produced negative reaction between archaeologists in many cases rejecting astronomical conclusions. Afortunately it seems that, in the last few years, is changing with the appearance of some well designed interdisciplinary archaeoastronomical projects.

Archaeoastronomy can be seen as another archaeometry, the application of natural sciences techniques to the analysis of archaeological contexts. In this case, archaeoastronomy can handle inmaterial archaeological record, believes and ritualism interpretations unachievable with another point of view. The archaeologist will need a specialist to interpret astronomically an archaeological record. But, obviously, the cultural interpretations need an archaeologist who will discern between posible only astronomical interpretations.

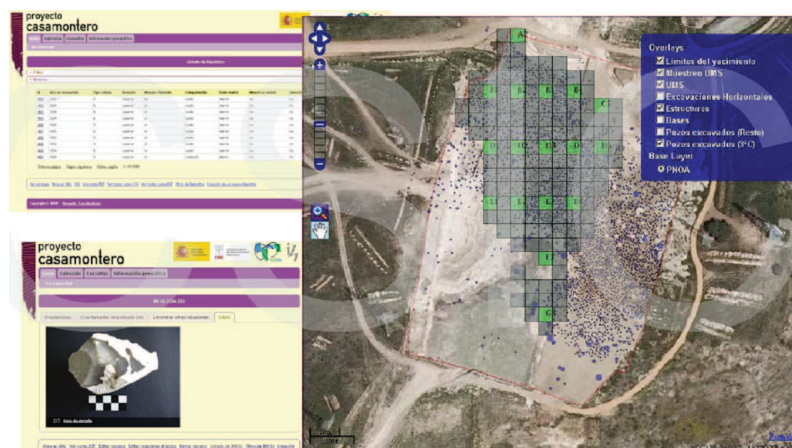


Fig. 4. WMS client example in Casa Montero archaeological project (Montero, 2003)

So, both sides are needed and essential, in any other case archaeoastronomical interpretations will be inexact or false; measurements without sense or archaeological contexts badly interpreted. Thus, we need interdisciplinary projects and researches feeding back each other to avoid that.

### 3. Spatial data infrastructure: Role in archaeoastronomical works

In archeology, the data traditionally is stored in analogical format, only in the last few years archaeological information is appearing in digital format, mainly in DXF and DWG AutoCAD files. Analogical format carries some problems in geographical related projects, specially in Archaeology. The data is not easily shared between persons in different places being each person's work disconnected to the others work. The digital processing is somewhat complicated, having to digitalize each plane, if it is necessary, without the possibility of put the whole information together. In archaeological contexts, where the aim is getting as information as possible about human societies, this is specially important. As happens nowadays, we can not understand a society only with only one layer of information, for example, the religion. Information need to be together taking all human ancient societies aspects into account, including elevation, resources, soil utilization and astronomy (figure 5).

As a solution to this, the SDI is easily applied in archaeological research. Examples of this can be seen in figures 4 and 6. Systematically on each site, takes out a topographical reconstruction work. This involves making an inventory of all items that appear at the site, with the location information. The SDI, allows digital inventory of information, easily publicable in standard formats described above. All SDI are available via Internet, which making accesible information to different working groups in modern information society. Obviously, if necessary, it is possible to grant restricted access to the Cartographic Server based on the user role profile.

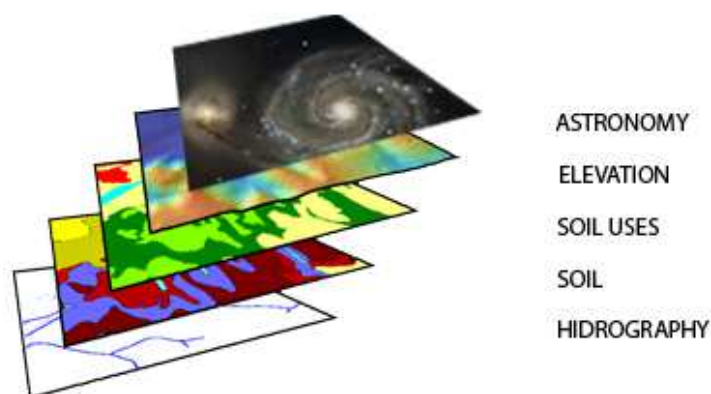


Fig. 5. Archaeoastronomical information as another layer of information in an SDI

To carry out the process of generating a digital inventory and publication in the SDI, some steps have to be performed:

- Land Survey. Using GPS, theodolites, technical photography and LIDAR data taken at the site. The GPS allows pinpointing each element in an archaeological site. This way, any building position can be taken, plotted or landscape elements can be mapped. LIDAR techniques has special interest, due to land reconstruction and performing high-precision DEMs. With airborne laser sensor -typically at rate of between 20,000 and 50,000 pulses



per second- can reconstruct the whole field in study with centimeter accuracy. LIDAR and GPS gives georeferenced measures, so it is perfectly possible to generate the map. In each point the sensor picks up the echoes of the laser, measuring the height of each element of the terrain. The final result is a 3D model of the entire site.

- **Spatial Database.** The data collected are georeferenced and stored with its geographical location. Then stored in the database space.
- **Geoprocessing.** In most cases it is necessary to process this data (raw data). Depending on the work involved will be coordinate system transformation, change between representation styles, data crossing with other databases and SDIs, etc.
- **Publication of the features.** Finally we proceed to publish the vector data of the database server using the map. On it, as mentioned, images are generated to be used by different applications, showing the characteristic images of flatness and they can access the data of each object georeferenced.

How to use all this together with astronomical data? The solution comes from using data published by the Archaeological SDI through applications clients. The most helpful are the WMS and WFS. We can publish the astronomical data using two ways: Vector or Raster datasets.

The simplest way is to offer the data via GeoRSS GML format. This is a consistent standard in XML in which each element is associated with its geographical position. This option is better when we try to use a thin client, like OpenLayers and Google Maps. It uses a reduced bandwidth and increase time responses. It is very useful to represent separate elements, as the line of heliacal rising of a star or if we combine our archaeological layer with other vector and raster layers from other SDIs, such as geology, elevation model, etc. It is also possible use geoJSON. This is an open format to geoencoding different data structures. It is a more compact than geoRSS.

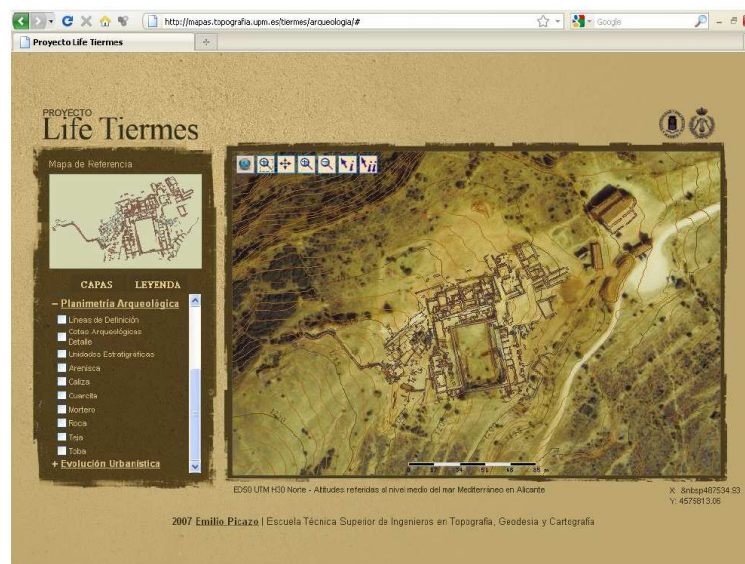


Fig. 6. SDI in Life Tiermes archaeological

<http://www.mat.ucm.es/archaeoastronomy/project> (Tiermes, 2007)

Another option is to generate a complete map layer, which could be stored in the database as raster or vector data sets and is published as a layer within the SDI. This solution is valid for

representing lines such as northern and southern boundaries of an eclipse of the sun or near a transit visibility.

Using the user interface, the archaeologists can zoom into a selected region. Getting information is reduced to click on a layer element, even create new data or views mixing existing layers. Obviously all interest information can be downloaded to a local repository for later use.

### 3.1 Representing astronomical data

We have described the SDIs and what kind of information we can get from them, now we will focus on the astronomical data we have available and which are likely to be useful in historical studies. We will discuss:

- Heliacal rising of the bright stars and planets to determine alignments matches present in the mapping.
- Data on local circumstances in eclipses of the sun and moon, for dating historical events.
- Azimuth over the horizon of sunrise, sunset and passed the meridian of the Sun at the Solstices and Equinoxes.

#### 3.1.1 Heliacal risings

In the case of heliacal Ortos, we will take into account the geometry described by Robert Purrington (Purrington, 1988). As a starting point, we need to have some knowledge about the profile that can be observed from a required position. To construct it, we can use a Digital Elevation Model (DEM) as basis. This consists in a file with a digital representation of the terrain's surface. For each X,Y position, an elevation value is given. There are several sources for this information, the most common used are satellite missions as SRTM or GETOPO30 (NASA, 2000). These projects provide free access to elevation models all over the world with different spatial resolutions and scales. From these files and the position of an observer, it is possible to reconstruct the profile of the horizon using any GIS software as gvSIG or QuantumGIS.

Next step is to determine the points of sunrise and sunset. To compute sun's or object position at any time on the horizon, we have to implement the following algorithm to ensure a good accuracy:

1. Apply correction for proper motion of the star.
2. Apply correction for precession.
3. Determine the date of the heliacal rising.
4. Apply refraction correction.
5. Calculate the azimuth of sunrise.

The result can be seen in the chart below, for each period, there is a shift in the position of azimuth on the horizon of this phenomenon, using the geometry of Purrington.

To determine the position of the heliacal point on rising to being able to represent the mapping, a whole set of software libraries can be developed that allow to apply this algorithm to remote dates from 4000 BC. For the calculations of precession we have applied the algorithm

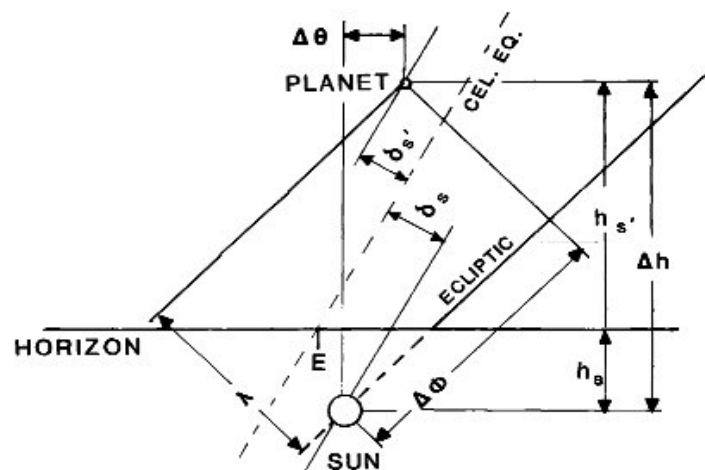


Fig. 7. Azimuth position shift by effect of the refraction. From (Purrrington, 1988)

described by Gómez, J. (Gómez Castaño, 2006). And the method described in the latest edition of the Explanatory Supplement (USNO, 1992) for atmospheric refraction correction, see figure 7.

Among the objects observed by different civilizations are the Sun, the planets and some bright stars. In some cultures -e.g. egyptian culture-, the output of some stars, like Sirius, were taken as elements to indicate the beginning of the calendar. As a reference star positions and proper motions, the FK5 catalog (Fricke et al., 1991) can be used and the Bright Star Catalogue (Hoffleit & Warren Jr, 1991) for the positions according to the J2000.0 reference system.

Concerning to the planetary positions in these times, the easiest source is the software using the JPL Horizons (figure 8). This provides for remote time, planetary positions using the JPL DE406 theory. It includes neither nutations nor librations. It is referred to the International Celestial Reference Frame. Time gap goes since JED 0624976.50 (-3001 FEB 04) to 2816912.50 (+3000 MAY 06). In any case we can develop customized applications from the coefficients of the theory. From the positions of the planets, the sun or the stars, the point on the horizon can be determined in which these stars appear or disappear. The azimuth of these points are plotted on a shape file or generates a vector layer which is distributed through SDI.

### 3.1.2 Alignments

Once those calculations get the ephemeris providing the Azimut of the Orto for every object, they have to be carried out to local times and places of archaeological site of interest. In the site, data are tested to get possible alignments. This can be achieved from a comparison between the astronomical layer containing rising and settings of the objects for a given date and the archaeological layer. Getting these layers into a SDI interface, the lines can aligned with terrestrial and architectonical elements.

### 3.1.3 Eclipses

On the other hand, for a given location historical events can be dated from the calculation of the local circumstances of an eclipse. This visibility can be calculated from the same besselianos elements of the eclipse. Recently, Fred Spenak has published Five Millennium Catalog of Solar



```

Step-size : 1440 minutes
*****
Target pole/equ : IAU_VENUS (East-longitude +)
Target radii : 6051.8 x 6051.8 x 6051.8 km (Equator, meridian, pole)
Center geodetic : 0.00000000,0.00000000,0.00000000 (E-lon(deg),Lat(deg),Alt(km))
Center cylindric : 0.00000000,0.00000000,0.00000000 (E-lon(deg),Dxy(km),Dz(km))
Center pole/equ : High-precision EOP model (East-longitude +)
Center radii : 6378.1 x 6378.1 x 6356.8 km (Equator, meridian, pole)
Target primary : Sun (source: DE406+DE405+DE408)
Interfering body: MOON (Req= 1737.400) km (source: DE406)
Deflecting body : Sun, EARTH (source: DE406)
Deflecting GMs : 1.3271E+11, 3.9860E+05 km^3/s^2
Atmos refraction: NO (AIRLESS)
RA format : HMS
Time format : CAL
EOP file : eop.100917.p101209
EOP coverage : DATA-BASED 1962-JAN-20 TO 2010-SEP-17. PREDICTS-> 2010-DEC-08
Units conversion: 1 AU= 149597870.691 km, c= 299792.458 km/s, 1 day= 86400.0 s
Table cut-offs 1: Elevation (-90.0deg=NO),Airmass (>38.000=NO), Daylight (NO)
Table cut-offs 2: Solar Elongation ( 0.0,180.0=NO)
*****
Date (UT) HR:MM R.A. (ICRF/J2000.0) DEC APmag S-brt delta deidct S-O-T/r S-T-O
*****
$$$OE
b2010-Aug-10 00:00 13 39 27.68 -16 43 09.3 -4.78 1.43 0.37287626401451 -10.4657914 35.1495 /T 127.7232
b2010-Aug-11 00:00 13 40 09.51 -16 58 49.0 -4.78 1.42 0.36688775287086 -10.2683999 34.4580 /T 128.9943
b2010-Aug-12 00:00 13 40 43.64 -17 13 41.8 -4.77 1.41 0.36101621868635 -10.0607067 33.7355 /T 130.2954
b2010-Aug-13 00:00 13 41 09.63 -17 27 45.4 -4.76 1.39 0.35526774097946 -9.8422664 32.9814 /T 131.6271
b2010-Aug-14 00:00 13 41 27.50 -17 40 57.2 -4.76 1.38 0.34964865220116 -9.6126502 32.1950 /T 132.9899
b2010-Aug-15 00:00 13 41 37.64 -17 53 14.7 -4.75 1.36 0.34416552504430 -9.3714570 31.3757 /T 134.3842
b2010-Aug-16 00:00 13 41 38.89 -18 04 35.0 -4.73 1.34 0.33882515264112 -9.1183263 30.5232 /T 135.8104
b2010-Aug-17 00:00 13 41 31.51 -18 14 55.5 -4.72 1.32 0.33363452202320 -8.8529485 29.6373 /T 137.2684
b2010-Aug-18 00:00 13 41 15.41 -18 24 13.4 -4.70 1.30 0.32860078242285 -8.5750720 28.7176 /T 138.7581
b2010-Aug-19 00:00 13 40 50.51 -18 32 25.9 -4.68 1.27 0.32373121100764 -8.2845050 27.7650 /T 140.2792
b2010-Aug-20 00:00 13 40 16.78 -18 39 30.1 -4.66 1.24 0.31903317884270 -7.9811131 26.7792 /T 141.8310
b2010-Aug-21 00:00 13 39 34.25 -18 45 23.3 -4.64 1.21 0.31451411932483 -7.6648135 25.7611 /T 143.4125
b2010-Aug-22 00:00 13 38 42.97 -18 50 02.8 -4.61 1.17 0.31018150006760 -7.3355692 24.7118 /T 145.0232
b2010-Aug-23 00:00 13 37 43.08 -18 53 25.9 -4.59 1.12 0.30604279808191 -6.9933834 23.6327 /T 146.6582
b2010-Aug-24 00:00 13 36 34.74 -18 55 30.1 -4.55 1.08 0.30210547736411 -6.6382972 22.5259 /T 148.3179
b2010-Aug-25 00:00 13 35 18.19 -18 56 13.3 -4.52 1.02 0.29837696746432 -6.2703885 21.3939 /T 149.9980
b2010-Aug-26 00:00 13 33 53.73 -18 55 33.4 -4.49 0.96 0.29486464156996 -5.8897746 20.2401 /T 151.6942
b2010-Aug-27 00:00 13 32 21.71 -18 53 28.6 -4.45 0.89 0.29157579197931 -5.4966195 19.0688 /T 153.4009
b2010-Aug-28 00:00 13 30 42.56 -18 49 57.8 -4.41 0.81 0.28851759889169 -5.0911461 17.8855 /T 155.1112

```

Fig. 8. Ephemeris calculated with JPL's Horizons software

Eclipses -1999 to +3000 (Spenak & Meeus, 2009). These ephemeris are a important help dating historical events.

### 3.2 Using astronomical data in the archaeological SDI

At this point it is clear that the main advantage of using this tool is to encapsulate the complexity of astronomical calculations, providing only useful information for the archaeologist.

In this type of work it is necessary to take into account the time to which we refer our calculations. The archaeological sites correspond to a date in antiquity, or a period. The Earth is subject to precessional motion so we must take into account when ephemeris are generated (Vondrák et al., 2011). The archaeological community is not used to deal with this type of calculation, but it is possible to encapsulate it within the astronomical SDI and generate, this way, information that is integrated with the other layers. This makes it easy to use for the archaeologist.

To integrate the two types of information is useful to follow the following process:

1. From classical astronomical software commented before, we can calculate object positions, taking into account the astronomical factors such as precession.
2. Ephemeris generation can be done on demand in real time or by storing ephemeris and serving sets as needed. These ephemeris are independent of the observing site.
3. Then, taking into account the position of the archaeological site corrections are made to include local factors such as atmospheric refraction, and calculating "local circumstances"
4. This ephemeris in vector format, lines, polylines or polygons, can be stored in spatial databases. It is also possible to generate shape files with the outcome of the ephemeris which can be added to the rest of archaeological GIS.
5. From the stored information in the database, a complete layer that is available to users through WMS or WFS can be generated. even downloadable in vector format if desired. It is also possible to publish data via GeoRSS and GML format to represent them in any kind of OpenLayers client or Google Maps.

The most important for the archaeologist is how to access these layers with astronomical information. To do this a client software is only needed to consume the services offered by the astronomical SDI. Any of the programs commonly used in archaeological can do that. It also can be developed customized programs based on thin clients, OpenLayers and the popular Google Maps that allows to user to integrate all kinds of layers and remote services with data stored locally.

Sometimes it can be useful the possibility of doing some geoprocesses with the information. As example, it can be useful the determination of the horizon visible from an archaeological site. Using the intended position of an observer and a DEM, the target profile shapefile is generated. These geoprocessing tools depend on the chosen program. There are very useful extensions like SEXTANTE (Olaya, 2011) or GDAL libraries (GDAL, 2011), open source software for Desktop or ArcGIS.

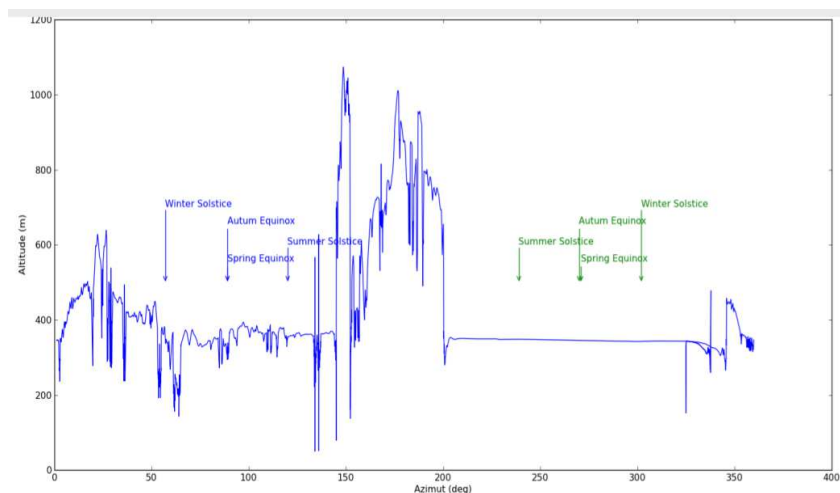


Fig. 9. Example of geoprocess. Horizon profile from Moreiros archaeological site at 4,000 B.C. (Mejuto et al., 2011; Valera & Becker, 2010; 2011)

As a result of applying these new layers to the existing archaeological and astronomical ones, a new tool for the analysis of the findings in archaeological sites appeared, and a line of knowledge about the culture of its inhabitants. The use of SDI allows to integrate these layers from astronomical servers, with the layers of the findings themselves.

#### 4. Case study: Ditched enclosures in Portugal

The data used in this example have been achieved in the context of the project *Ditched Enclosures' plans and Neolithic Cosmologies: A Landscape, Archaeoastronomical and Geophysical Point of View*. This project is funded by Calouste Gulbenkian Foundation and scientifically led by the archaeologist Antonio C. Valera from Era Arqueología, the geophysical part was carried out by Helmut Becker from Becker Archaeological Prospections and the archaeoastronomical part was responsibility of the authors (Valera & Becker, 2010; 2011).

The work involves Neolithic and Chalcolithic periods which are very interesting from an archaeological and astronomical point of view. Neolithic is a period of changes, very important and strong changes in some cases, as the transition to sedentary populations and the development of agriculture. It was also, an epoch of revolution in technology and minds. The ritualism, symbolism and social complex processes raised strongly.

Ditched enclosures are monuments with a tendency to circularity in shape with several concentric ditches from a few meters up to several hundred meters in diameter. Initial distribution was over a large part of Europe (specially in Germany, Austria, and Southern Britain) but nowadays we have an increasing number of this type of monuments all over Iberian Peninsula generally because of the civil works and a few of research projects.

We will take as example Moreiros site which is located in Arronches, Évora, with several enclosures some of them so called wavy enclosures. Usually the explanations of this type of sites have been referred more to group identity management or symbolic world distribution, putting the stress in the construction process itself as a social stimulator. Others just have seen in these sites a reflection of sedentary groups settlements in which typology talk us about hierarchy in the territory.

Methodology talking the aim is joining traditional GIS techniques with the astronomical ephemeris calculation and its representation over the landscape and terrain. We should stress the peculiarities of this study. The first one is that no one of the sites was never digged and the ditches are no structures that can be oriented. These aspects had to be solved by the work methodology.

On the one hand data gathering has been done on terrain including very precise GPS coordinates of each site. From UTM coordinates, we have made the calculation of the visible horizon from the site. After calculation we get a shape vectorial file that we can use with a Digital Elevation Model and the magnetic data.

The second part of the work is related to astronomical variables. In this example only the solar main positions are implemented. But it is perfectly possible to include some other lunar events, heliacal rises of stars, planetary events, asterism positions and so on. To get this we use a Python programmed code that give us another vectorial shape file as output which we can cross over the Digital Elevation Model again to get the astronomical orientations.

In figure 9 we can see one of the outputs of this software; this is the horizon profile from Moreiros at four thousand before Christ again with the solar main positions on it. In the horizontal axe the azimuth angles are displayed and in the vertical one the height in meters. At left in blue there are the rises and in the right the sets in green. It can be seen that, in this case, there are no topographic markers, astronomically speaking.

One of the other outputs of the software is the calculation of the azimuth angles of solar main positions all over the year. The final result can be seen in figure 10. In this case the sun main directions are shown: the summer solstice, the equinoxes and the winter solstice taking into account the topography. As you can see, the east door of the enclosure is oriented to winter solstice at the rise and the west door is oriented to the same event in the set. The shape of one of the enclosures is also related to the winter solstice as other structures marked with an arrow in the graphic.

This methodology has several interesting points, the technique used can be used in standard OGC services in internet as a way to outreach results of the research. Also gives us the possibility to study a site from different views (topoastronomy, orientation ...), everything with noninvasive techniques, Allowing us, in a simple way, getting geographical information useable in any other GIS tools where the astronomical information is another layer of information which can be served as other data in an archaeological project.

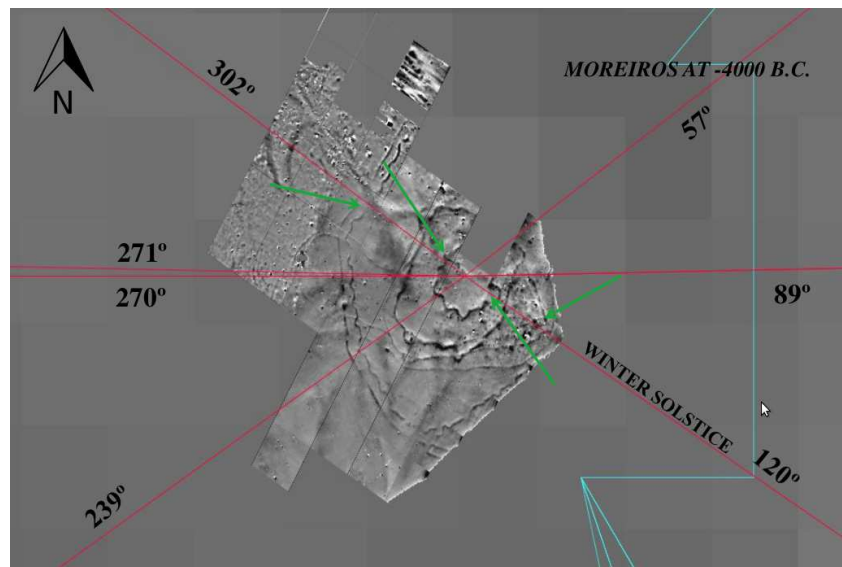


Fig. 10. Solar archaeoastronomical study for Moreiros at 4,000 B.C. As can be seen topography, landscape and geophysical data are considered (Mejuto et al., 2011).

## 5. Acknowledges

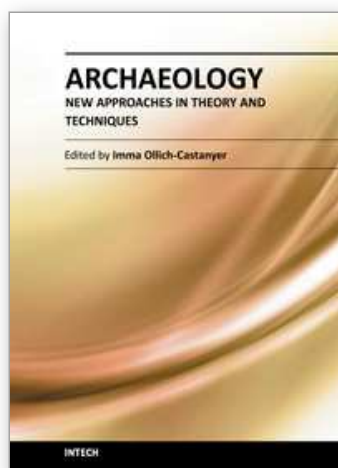
This work has been developed inside **UCM910596 Research Group: "Grupo de estudios ionosféricos y técnicas de posicionamiento global por satélite (GNSS)"** in the framework of the project entitled **Aplicación de la Interferometría Radar Satélite y los Sistemas Globales de Navegación por Satélites en Estudios sobre Control de Deformaciones de la Cordillera Bética (AYA2010-15501 (subprogram ESP))**.

## 6. References

- Belmonte, J. A. (2000). *Arqueoastronomía Hispánica. Prácticas astronómicas en la Prehistoria de la Península Ibérica y los archipiélagos balear y canario*, Equipo sirius.
- Burrough, P. A. & McDonell, R. A. (1988). *Principles of Geographical Information Systems (Spatial Information Systems)*, Oxford University Press.
- Cerdeño, M. L., Rodríguez, G., Moya, P. R., Ibarra, A. & Herrero, S. (2006). Los estudios de arqueoastronomía en España. estado de la cuestión, *Trabajos de Prehistoria* 63(2): 13–34.
- Esteban, C. (2003). La arqueoastronomía en España, *Anuario del Observatorio Astronómico* pp. 309–322.
- EU (2007). European INSPIRE directive.  
URL: <http://inspire.jrc.ec.europa.eu/>
- Fricke, W., Schwan, H., Lederle, T., Bastian, U., Bien, R., Burkhardt, G., du Mont, B., Hering, R., Jährling, R., Jahreis, H., Röser, S., Schwerdtfeger, H. & Walter, H. (1991). Fifth fundamental catalogue (FK5). part 1. the basic fundamental stars, *Astronomisches Rechen-Institut* 32.
- GDAL (2011). GDAL.  
URL: <http://www.gdal.org/>
- GEOSERVER (2001). Geoserver open source software project.  
URL: <http://geoserver.org/display/GEOS/Welcome>
- Gómez Castaño, J. (2006). Algoritmo de precesión válido para épocas remotas, *Astrum*.

- Gómez Castaño, J., Mejuto, J. & Rodríguez-Caderot, G. (2011). Generación de una capa Astronómica para la IDE Arqueológica. *Arqueoastronomía en el Sur de Portugal, II Jornadas Ibéricas de las Infraestructuras de Datos Espaciales*.
- Hoffleit, D. & Warren Jr, W. (1991). *The Bright Star Catalogue, 5th Revised*, Astronomical Data Center, NSSDC/ADC.
- IGN (2011). Spanish national spatial data infrastructure (IDEE).  
URL: <http://www.idee.es>
- Lockyer, J. N. (1909). *Stonehenge and other British Stone monuments astronomically considered*, Macmillan and Co., Limited.
- Mejuto, J., Valera, A., Gómez Castaño, J., Rodríguez-Caderot, G. & Becker, H. (2011). Ditched enclosures in southern Portugal: an archaeoastronomical point of view of Portuguese neolithic and chalcolithic, *Stars and Stones: Voyages in Archaeoastronomy and Cultural Astronomy - A meeting of different worlds*.
- Montero, C. (2003). Casa montero archaeological project.  
URL: <http://www.casamontero.org/>
- NASA (2011). ASTER global digital elevation map 2.0.  
URL: <http://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp>
- OGC (2011a). Open geospatial consortium (OGC).  
URL: <http://www.opengeospatial.org>
- OGC (2011b). SFSQL standard.  
URL: <http://www.opengeospatial.org/standards/sfs>
- Olaya, V. (2011). SEXTANTE.  
URL: <http://sextante.forge.osor.eu/>
- Purrington, R. (1988). Heliacal rising and setting: Quantitative aspects, *Archaeoastronomy* 12.
- Spenak, F. & Meeus, J. (2009). *Five millenium catalog of solar eclipses -1999 to +3000*, JPL-NASA.
- Stukeley, W. (1740). *Stonehenge, a temple restor'd to the British Druids*.
- NASA (2000). NASA's SRTM mission.  
URL: <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>
- OSGEO (2011). Osgeo.  
URL: <http://www.osgeo.org/>
- Thom, A. (1954). The solar observatories of megalithic man, *Journal of the British Astronomical Association* 64: 396–404.
- Thom, A. (1967). *Megalithic sites in Britain*, Oxford University Press.
- Tiermes (2007). Life tiermes archaeological project.
- USNO (1992). *Explanatory Supplement to the Astronomical Almanac*, University Science Books.
- Valera, A. (2008). Mapeando o cosmos. uma abordagem cognitiva aos recintos da pré-história recente, *ERA Arqueologia* 8: 112–127.
- Valera, A. & Becker, H. (2010). Arqueoastronomía, geofísica e recintos de fosos da pré-história recente no sul de Portugal, *Actas do 8 Encontro de Arqueologia do Algarve*.
- Valera, A. & Becker, H. (2011). Cosmologia e recintos de fosos da pré-história recente: resultados da prospecção geofísica em xanra (cuba, beja), *Apontamentos de Arqueologia e Património* 7.
- Vondrák, Capitane & Wallace (2011). New precession expressions, valid for long time intervals, *Astronomy & Astrophysics manuscript*.
- Wood, J. (1747). *Choir Gaure, Vulgarly called Stonehenge, on Salisbury Plain*.





## **Archaeology, New Approaches in Theory and Techniques**

Edited by Dr. Imma Ollich-Castanyer

ISBN 978-953-51-0590-9

Hard cover, 292 pages

**Publisher** InTech

**Published online** 09, May, 2012

**Published in print edition** May, 2012

The contents of this book show the implementation of new methodologies applied to archaeological sites. Chapters have been grouped in four sections: New Approaches About Archaeological Theory and Methodology; The Use of Geophysics on Archaeological Fieldwork; New Applied Techniques - Improving Material Culture and Experimentation; and Sharing Knowledge - Some Proposals Concerning Heritage and Education. Many different research projects, many different scientists and authors from different countries, many different historical times and periods, but only one objective: working together to increase our knowledge of ancient populations through archaeological work. The proposal of this book is to diffuse new methods and techniques developed by scientists to be used in archaeological works. That is the reason why we have thought that a publication on line is the best way of using new technology for sharing knowledge everywhere. Discovering, sharing knowledge, asking questions about our remote past and origins, are in the basis of humanity, and also are in the basis of archaeology as a science.

### **How to reference**

In order to correctly reference this scholarly work, feel free to copy and paste the following:

J. Mejuto, J. Gómez Castaño and G. Rodríguez-Caderot (2012). GIS Techniques in Archaeology: An Archaeoastronomical Approach, Archaeology, New Approaches in Theory and Techniques, Dr. Imma Ollich-Castanyer (Ed.), ISBN: 978-953-51-0590-9, InTech, Available from:  
<http://www.intechopen.com/books/archaeology-new-approaches-in-theory-and-techniques/gis-techniques-in-archaeology-an-archaeoastronomical-approach>

**INTECH**  
open science | open minds

### **InTech Europe**

University Campus STeP Ri  
Slavka Krautzeka 83/A  
51000 Rijeka, Croatia  
Phone: +385 (51) 770 447  
Fax: +385 (51) 686 166  
[www.intechopen.com](http://www.intechopen.com)

### **InTech China**

Unit 405, Office Block, Hotel Equatorial Shanghai  
No.65, Yan An Road (West), Shanghai, 200040, China  
中国上海市延安西路65号上海国际贵都大饭店办公楼405单元  
Phone: +86-21-62489820  
Fax: +86-21-62489821

**A6.2. "El "calendario celta" como fuente para el estudio de la cultura céltica, arqueoastronomía y etnohistoria"**

# VI Simposio sobre Celtiberos

*Ritos y Mitos*

Francisco Burillo Mozota (Ed.)

Fundación Segeda - Centro Celtibérico



## Publicación nº 6 de los Estudios Celtibéricos

Publicación número 49 del Centro de Estudios Darocenses  
C/ Mayor (Puerta Baja) - 50360 DAROCA (Zaragoza)  
Teléfono: 976 800 540 – e-mail: daroca@ifc.dpz.es

Publicación número 2.959 de la Institución “Fernando el Católico”  
(Organismo autónomo de la Excma. Diputación de Zaragoza)  
Plaza de España, 2 – 50071 Zaragoza (España)  
Tel. [34] 976 288 878 / 9 – Fax [34] 976 288 869  
e-mail: ifc@dpz.es

El *VI Simposio sobre Celtiberos: Ritos y Mitos* ha sido posible gracias al apoyo de las siguientes instituciones: Proyecto I+D HAR2008-04118/HIST financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación y los fondos FEDER; Ministerio de Educación y Ciencia; Gobierno de Aragón (Dirección General de Investigación, Innovación y Desarrollo del Departamento de Ciencia, Tecnología e Innovación y Dirección General de Patrimonio Cultural del Departamento de Educación, Cultura y Deporte), Universidad de Zaragoza, Grupo de Excelencia *Hiberus*, Fundación Universitaria Antonio Gargallo, Fundación para el Desarrollo Campo de Daroca, Comarca Campo de Daroca, Ayuntamiento de Daroca, Centro de Estudios Darocenses, Institución Fernando el Católico y Adri Jiloca Gallocanta.

### FICHA CATALOGRÁFICA

**BURILLO MOZOTA, Francisco (Ed.)**

***VI Simposio sobre Celtiberos: Ritos y Mitos. Actas***

pp. 628; il. color 28; 29 cm.

I.S.B.N.: 978-84-613-7726-8

1. Historia Antigua

1. Civilización Celtibérica. 2. Congresos y Asambleas.

Quedan rigurosamente prohibidas, sin la autorización escrita de los titulares del copyright, bajo las sanciones establecidas en las leyes, la reproducción total o parcial de esta obra por cualquier medio o procedimiento, comprendidos la reprografía y el tratamiento informático.

© de los autores

© de la presente edición Centro de Estudios Celtibéricos de Segeda - Fundación Segeda

I.S.B.N.: 978-84-613-7726-8

Depósito Legal: Z-14-10

COMPOSICION DE TEXTOS Y MAQUETACION: AREBASIKO S.L. M.ª Ascensión Cano Díaz

EDITA: Centro de Estudios Celtibéricos de Segeda

IMPRIME: COMETA S.A. - Ctra. Castellón, km. 3,4 - ZARAGOZA

# INDICE

pág.

## DIOSES, ESPACIOS SACROS Y SACERDOTES

|                                                                                                                                                                                 |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 1. Dioses, espacios sacros y sacerdotes. F. MARCO                                                                                                                               | 11  |
| 2. La divinidad celeste de los celtíberos: estética y mitos. R. ABAD                                                                                                            | 27  |
| 3. Elementos de ritualidad y espacios sacros en el reborde suroriental del territorio vacceo y zonas limítrofes celtibéricas. J. BARRIO y J. FCO. BLANCO                        | 35  |
| 4. Prácticas rituales, comensalidad e ideología en un espacio de transición. Ámbitos diferenciales en la Terra Alta-Matarraña (s.VII-VI a. C.). L. FATÁS, S. SARDÁ y R. GRAELLS | 45  |
| 5. Cultos, rituales y símbolos, en el ámbito protohistórico del territorio alavés. A. LLANOS                                                                                    | 57  |
| 6. DEBATE DIOSES, ESPACIOS SACROS Y SACERDOTES I                                                                                                                                | 63  |
| 7. Tesoros de plata en el ámbito celtibérico ¿función votiva, depósitos de platero o dinero fraccionario? M. BARRIL                                                             | 73  |
| 8. Sobre la identificación de entornos religiosos en el horizonte prerromano celtibérico. J. ARENAS                                                                             | 87  |
| 9. Algunos elementos religiosos en la Celtiberia Meridional (Provincia de Cuenca). E. GOZALBES                                                                                  | 103 |
| 10. Campo Lameiro y Peñalba de Villastar: miradas cruzadas sobre lugares de culto prerromanos peninsulares y su romanización. M. V. GARCÍA y A. CÉSAR GONZÁLEZ                  | 113 |
| 11. La ley del 1 <sup>er</sup> Bronce de Botorrita: uso agropecuario de un encinar sagrado. P. DE BERNARDO                                                                      | 123 |
| 12. DEBATE DIOSES, ESPACIOS SACROS Y SACERDOTES II                                                                                                                              | 147 |

## LOS SÍMBOLOS DE PODER

|                                                                                                              |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 13. El <i>Heros Ktistes</i> y los símbolos de poder de la Hispania prerromana. M. ALMAGRO-GORBEA y A. LORRIO | 157 |
| 14. DEBATE LOS SÍMBOLOS DE PODER                                                                             | 183 |

## LA RELIGIÓN CELTIBÉRICA DESDE LA RELIGIÓN CÉLTICA

|                                                                          |     |
|--------------------------------------------------------------------------|-----|
| 15. La religión celtibérica desde la religión céltica. M. ALDHOUSE-GREEN | 189 |
| 16. Mujer, épica y mitos entre los celtíberos. M. SALINAS                | 205 |
| 17. DEBATE LA RELIGIÓN CELTIBÉRICA DESDE LA RELIGIÓN CÉLTICA             | 213 |

## RITOS DE SANGRE

|                                                                                          |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 18. Ritos de sangre. Sacrificios cruentos en los ámbitos celtibérico y vacceo. S. ALFAYE | 219 |
| 19. DEBATE RITOS DE SANGRE                                                               | 239 |

## LA IDEOLOGÍA DE LA MUERTE

|                                                                                                              |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 20. La ideología de la muerte en el ámbito celtibérico. Evidencias rituales y nuevas perspectivas. G. SOPEÑA | 245 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

## EL HOSPITIUM

|                                                                                                                                 |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 21. El <i>Hospitium</i> celtibérico. F. BELTRAN                                                                                 | 273 |
| 22. Nueva tésera hallada en Muro (Soria) y la posible ubicación de "AreKoraTa". A. JIMENO, J. P. BENITO, A. SANZ y C. TABERNERO | 291 |
| 23. Técnicas de fabricación de las téseras de hospitalidad celtibéricas. I. SIMÓN                                               | 299 |
| 24. DEBATE EL <i>HOSPITIUM</i>                                                                                                  | 309 |

## EL RITUAL FUNERARIO

### ALTO TAJO Y VALLE DEL EBRO

|                                                                                                                                                                                                                      |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 25. Veinte años después: El ritual funerario de los Celtíberos del Alto Tajo-Alto Jalón. M. <sup>a</sup> L. CERDEÑO                                                                                                  | 315 |
| 26. Ritos de comensalidad y delimitación del espacio funerario en la necrópolis de Herrería IV (Guadalajara). T. SAGARDOY y M. CHORDA                                                                                | 331 |
| 27. La Necrópolis Tumular de Sant Joaquim de la Menarella de Forcall, comarca Dels Ports (Castellón). A. BARRACHINA, D. VIZCAÍNO, A. VICIACH, R. PÉREZ, B. AGUSTÍ, N. ARQUER, A. SANCHÍS, F. J. HERNÁNDEZ y C. TORMO | 341 |
| 28. Uso y significado de materiales mediterráneos en algunas tumbas del Bajo Aragón (s.VII-VI a. C.): reflexiones sobre un sistema complejo. R. GRAELLS, L. FATÁS y S. SARDÁ                                         | 351 |
| 29. DEBATE EL RITUAL FUNERARIO: ALTO TAJO Y VALLE DEL EBRO                                                                                                                                                           | 363 |

### VALLE DEL DUERO

|                                                                                                                                                           |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 30. Ritos Funerarios y Mitos Astrales en las necrópolis celtibéricas del Alto Duero. A. JIMENO, J. I. DE LA TORRE y A. CHAIN                              | 369 |
| 31. El registro funerario celtibérico en el norte de Soria. C. TABERNERO, A. SANZ ARAGONÉS y J. P. BENITO                                                 | 391 |
| 32. Mujeres, rango social y herencia en la necrópolis vaccea de Las Ruedas, Pintia (Padilla de Duero/Peñafiel, Valladolid). C. SANZ y F. ROMERO           | 403 |
| 33. Rito y estructura social en la necrópolis de La Osera (Chamartín, Ávila). I. BAQUEDANO y C. MARTÍN                                                    | 421 |
| 34. Inhumaciones Infantiles en el centro peninsular durante la Protohistoria. Una revisión teórica y algunas novedades. I. BAQUEDANO, A. TORIJA y M. CRUZ | 433 |
| 35. DEBATE EL RITUAL FUNERARIO: VALLE DEL DUERO                                                                                                           | 445 |

## IMÁGENES

|                                                                                                                                               |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 36. Imágenes del ritual e imágenes en el ritual en Celtiberia. S. ALFAYE y G. SOPEÑA                                                          | 455 |
| 37. Doble espiral y eses en serie: símbolos gráficos de 'cadencia' en las culturas ibérica y celtibérica. J. M. PASTOR                        | 473 |
| 38. Caballos y discos solares en la iconografía numantina. Una aproximación a la cosmología y ritualidad celtibérica. P. BURILLO y F. BURILLO | 485 |
| 39. La decoración arboriforme en el entorno de Arcobriga. A. GONZALO                                                                          | 499 |
| 40. La iconografía celtibérica vista desde la iconografía ibérica del Valle del Ebro. I. GARCÉS                                               | 507 |
| 41. DEBATE IMÁGENES DEL RITUAL E IMÁGENES EN EL RITUAL                                                                                        | 517 |

## LA PERVIVENCIA DE LEYENDAS Y RITUALES

|                                                                                                                                                 |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 42. Le Trésor et la Clef: de la mythologie celtique au folklore de l'or caché dans les traditions ibériques. F. DELPECH                         | 523 |
| 43. El "Calendario Celta" como fuente para el estudio de la Cultura Céltica. Arqueoastronomía y etnohistoria. J. MEJUTO y J. F. TORRES-MARTÍNEZ | 541 |
| 44. La sacralidad y los ritos circumambulatorios en la Hispania Céltica a través de las tradiciones populares. P. R. MOYA                       | 553 |
| 45. Un ritual de iniciación en el solsticio de verano en Cabolafuente (Zaragoza). F. MARCO                                                      | 563 |
| 46. DEBATE PERVIVENCIA DE LEYENDAS Y RITUALES                                                                                                   | 567 |

## VINO Y RITUAL EN LA CELTIBERIA

|                                                                                |     |
|--------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 47. Vino y ritual en la Celtiberia. F. BURILLO                                 | 573 |
| 48. El vino en Pintia: nuevos datos y lecturas. C. SANZ, F. ROMERO y C. GORRIZ | 595 |
| 49. DEBATE VINO Y RITUAL EN LA CELTIBERIA                                      | 613 |



## EL "CALENDARIO CELTA" COMO FUENTE PARA EL ESTUDIO DE LA CULTURA CELTICA. ARQUEOASTRONOMIA Y ETNOHISTORIA

Jesús F. Torres-Martínez\*, J. Mejuto González \*\*

### RESUMEN

*En este trabajo se pretende mostrar la utilidad e importancia de los estudios que, desde el punto de vista astronómico, se llevan a cabo en los contextos arqueológicos, es decir, la Arqueoastronomía. En este caso se muestra su aplicación a la concepción del tiempo y del espacio en la cultura céltica, con especial atención al denominado "calendario celta". El artículo comienza con una explicación de la estructura básica (astronómica y matemática) del calendario celta para, seguidamente, ahondar en la importancia y la proyección que la concepción de tiempo y su cómputo tuvo en diversos aspectos que en principio podían parecer alejados, como la economía y la religión o la proyección religiosa del calendario astronómico y ritual en el paisaje.*

### ABSTRACT

*This work tries to show the relevance and utility of astronomical studies in archaeological context, i.e. archaeoastronomy. In this case, Celtic culture's space and time concepts are explained, with special relevance of Celtic calendar. The paper starts with an explanation of the basic structure -astronomical and mathematical- of the Celtic calendar. Furthermore, the importance of concept of time and its measure is analyzed in relation with subjects thought not to be linked, as economy or religion, and the religious meaning of the ritual and astronomic calendar in the landscape.*

### PALABRAS CLAVE

Arqueoastronomía, concepción del tiempo y el espacio, astronomía, matemática, condiciones medioambientales, economía, religión, territorio.

### KEY WORDS

*Archaeoastronomy, time and space conception, astronomy, mathematics, environmental conditions, economics, religion, landscape*

### INTRODUCCION

Resultan escasas las ocasiones en las que se aborda el tiempo como un objeto histórico de estudio, o en las que se desarrollan estudios específicos sobre cómo se concibe el tiempo en las sociedades del pasado. Aún en la actualidad sigue siendo difícil encontrar trabajos sobre este tipo de cuestiones en las bibliografías científicas. En el presente trabajo nos referiremos a uno de los ejemplos más notables, interesantes y destacados de cómo algunas sociedades protohistóricas medían su tiempo y la enorme trascendencia que esto tenía para estas sociedades desde puntos de vista como el económico, el social o el ritual, etc. Se trata del *Calendario Céltico*.

Los humanos poseemos varias formas de constatar el paso del tiempo. Una se basa en la verificación de los cambios físicos que acompañan el discurrir de nuestra vida: envejecemos. Este es el *tiempo biológico*. La proyección social e ideológica de estos cambios son los distintos *ritos de paso* de tradicional han acompañado las distintas fases del desarrollo en las sociedades premodernas. Estas dos formas de medir el paso del tiempo, humana y subjetiva, nos permiten establecer proporciones temporales basadas en la existencia individual y social y en las de las generaciones anteriores conocidas. Este transcurrir del tiempo va íntimamente unido al transcurrir del tiempo medioambiental, con los cambios cíclicos de las distintas fases anuales o *estaciones* y en la sucesión de las distintas condiciones climáticas y los consiguientes cambios en los ecosistemas. Es este el *tiempo medioambiental* o *ecológico*. El tiempo biológico de las personas y el tiempo medioambiental están en relación con los ciclos vitales (el *tiempo*) de otros seres vivos estrechamente relacionados con los humanos: el de los animales domésticos.

Conectado con éstas formas de tiempo existe otro tiempo de carácter cíclico que las sociedades humanas, desde fechas que resultan sorprendentemente cada vez más tempranas, utilizó en su provecho al ponerlo en relación directa con el *tiempo medioambiental* o *ecológico*. Lo denominamos *tiempo astronómico*.

### CONCEPTOS ASTRONOMICOS

El primer paso para utilizar el tiempo astronómico es cuantificarlo y "discretizarlo" (dividirlo en partes aprehensibles). La unidad temporal de observación más inmediata es el *día* (la *jornada*) y a partir de esta unidad se establecen sus distintos múltiplos. Uno de ellos es lo que denominamos *año*.

\*Dpto. Prehistoria, Universidad Complutense de Madrid, Equipo Monte Bernorio; Instituto de Estudios Prerromanos y de la Antigüedad.

\*\* Dpto. Física de la Tierra, Astronomía y Astrofísica I, Universidad Complutense de Madrid, Equipo Monte Bernorio.

A través de la observación se pueden llegar a definir varios tipos de años según la referencia que tomemos. En relación directa con nuestro trabajo definiremos en principio dos: el *año trópico* y el *año sidéreo*. El *año trópico* resulta del número de días que transcurren entre dos pasos consecutivos del Sol por el equinoccio de primavera, siendo su duración de 365,2422 días. En cambio, el *año sidéreo* se define como el lapso de tiempo que existe entre dos posiciones consecutivas del Sol respecto del fondo de estrellas, y en este caso el año consta de 365, 2564 días. El siguiente es el *año lunar*. Para comprender el contenido de este periodo es necesario tener en cuenta que el concepto de *año* solamente tiene sentido para el ciclo solar, ya que el año se define como una revolución en torno al Sol por parte de la Tierra. Por lo tanto, el *año lunar* se define por analogía con el solar de la Tierra y no de forma independiente. Al definir un año lunar con su respectivo calendario debemos referirnos en primer lugar a los distintos "meses lunares" y *lunaciones*. Podemos hablar de varios tipos de "meses lunares". Análogamente al *año sidéreo* tendríamos el *mes sidéreo* de 27,32 días, que se define como el intervalo entre dos posiciones iguales consecutivas de la Luna respecto al fondo de estrellas. El otro "mes lunar" que nos interesa es el *mes sinódico*, que es el intervalo temporal entre dos fases lunares idénticas, con una duración de 29,53059 días. A partir de este mes, por analogía con el año solar, podemos definir el año lunar como 12 meses sinódicos, es decir,  $29,53059 \times 12 = 354,367$  días.

Queda claro que el primer problema que tiene que afrontar un observador a la hora de realizar un sistema calendárico es que las unidades anuales y mensuales no son números enteros. El segundo problema a solventar es que el Sol sale por el horizonte en posiciones diferentes a lo largo del año. Pero estas no son las únicas dificultades. La Tierra gira alrededor de un eje que se encuentra inclinado respecto de la vertical del plano de traslación -que realiza la Tierra alrededor del Sol-  $23^\circ 26'$ . Este fenómeno produce como resultado lo que conocemos como estaciones, pero también ocasiona que la posición del eje de rotación no sea constante; sino que varíe por efecto de otros dos movimientos de la Tierra: la *precesión* y la *nutación*. Por medio del movimiento de *precesión* el eje de rotación de la Tierra se mueve formando una superficie cónica con un radio en la base justamente coincidente con su inclinación,  $23^\circ 26'$ . El otro movimiento, la *nutación*, es un movimiento de "cabeceo" que se superpone al anterior. Los periodos de estos movimientos son 26.000 años y 18,6 años respectivamente, pero sus efectos son observables en intervalos temporales mucho más cortos. Por ejemplo, debido a estos movimientos la primavera comienza cada cuatro años una hora más tarde, es decir, un día más tarde en 96 años.

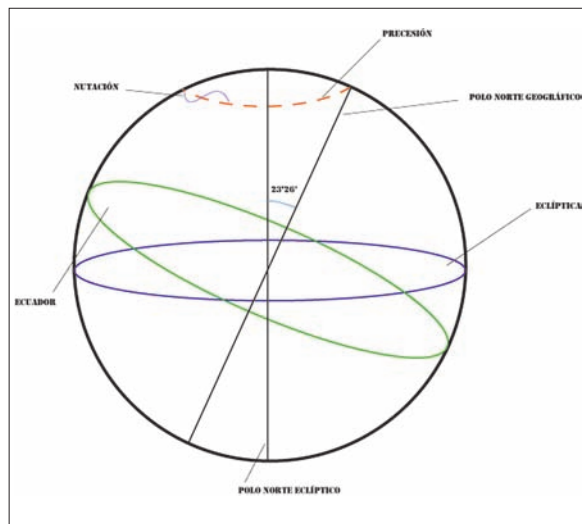


Fig. 1. Movimientos de precesión y nutación en la esfera celeste

De entre los efectos que se producen sobre la Tierra quizás el más llamativo es que el polo Norte celeste se modifique con el tiempo, esto quiere decir que la estrella que nos sirve actualmente de referencia para localizar el Norte -la estrella Polar- no era la misma en el pasado ni tampoco lo será en el futuro. A título de ejemplo, hace unos 4.500 años el astro que marcaba el Norte era la estrella más brillante de la *Constelación del Dragón, Thuban*; y en torno al año 4.000 d.C. lo será la tercera estrella más brillante de la *Constelación de Cefeo, Errai*. Con todo ello, se entiende con facilidad que es prácticamente imposible conseguir un sistema calendárico perdurable, siempre debe estar sujeto a modificaciones, correcciones y convenciones. Esto es lo que ocurre tanto con los calendarios "religiosos" como con los "civiles".

Para conseguir un sistema calendárico resulta imprescindible desarrollar la capacidad para realizar observaciones astronómicas durante largos periodos de tiempo y también desarrollar un sistema de registro o anotación de las distintas efemérides astronómicas. Si se desarrolla un conocimiento astronómico básico adecuado se pueden ubicar observatorios astronómicos en determinados lugares prominentes. Desde estos puntos se desarrollan observaciones sistemáticas y, a partir de las efemérides conocidas, se establecen calendarios con los fenómenos celestes futuros. Estos observatorios astronómicos no tienen porqué tener una estructura compleja: la precisión de las observaciones obtenidas dependen del conocimiento y pericia del observador tanto como del espacio en el que se sitúan o su estructura. Lo que si debemos tener en cuenta es que observaciones y cálculos sofisticados con medios sencillos requieren de conocimientos avanzados de matemáticas. La gestión de los datos y el conocimiento obtenidos no requiere



necesariamente un sistema de escritura, los datos pueden ser memorizados mediante reglas nemotécnicas por determinadas personas, lo que sabemos era el medio de transmisión de conocimiento habitualmente empleado en la Protohistoria en el continente Europeo (Kristiansen y Larsson 2006, 284-289).

Al menos desde época neolítica se conocen estructuras arqueológicas -frecuentemente circulares, construidas con postes de madera y terraplenes o fosos que aparecen en distintos lugares de Europa- que se interpretan como construcciones de tipo ritual que se relacionan con el seguimiento de distintas efemérides astronómicas. Posteriormente este tipo de estructuras darán paso a otras más complejas de tipo megalítico, de la que Stonehenge (Salisbury Plain, Wiltshire, Inglaterra) es por el momento el máximo exponente. Espacios rituales de la Edad del Bronce como el de Nebra, situado en el monte Mittelberg, (Sajonia-Anhalt, Alemania) son ejemplos claros del grado de desarrollo y la importancia que la astronomía y el cómputo del tiempo tenían en estas sociedades (Meller 2006, Schlosser 2006). Por tanto ya en momentos anteriores a la Edad del Hierro se realizaban observaciones astronómicas sistemáticas que ponen de manifiesto que se observaban sistemáticamente determinados fenómenos astronómicos y que existía un importante grado de conocimiento astronómico que se desarrollará en la Edad del Bronce hasta dar como resultado, en la Edad del Hierro, formas muy avanzadas de cómputo del tiempo (Almagro-Gorbea 1991; Hoskin 1994; Iwaniszewski 1994; Rebullida Conesa 1994; Baquedano y Escorza 1998; Argente Oliver 2000, 234-250; Esteban 2002; Valdés y Pujana 2002; Cerdeño, Rodríguez, y Folgueira 2002; Cerdeño *et alii* 2004; García Quintela y Santos 2004; Esteban y Moret 2006; Rodríguez-Caderot *et alii* 2006; Cerdeño *et alii* 2006).

En el ámbito cultural céltico los especialistas religiosos (que reciben la denominación de *druidas*) serían los encargados de la preservación del conocimiento. El periodo de aprendizaje duraba veinte años (el ciclo completo de la luna o ciclo *metónico* dura 19 años solares terrestres) y en este periodo debían memorizar todo el bagaje sapiencial de su cultura ya que no empleaban la escritura para registrarlo. Dentro de este bagaje de conocimiento, además de la Astronomía, estaban también conocimientos de matemáticas y lo que hoy denominaríamos filosofía y especulación científica (Gaspari 1997; Harding 2003, 340). C. J. César, *BG* (VI, 14, 6), se refiere a los *druidas* como los encargados de la gestión y transmisión de este tipo de conocimientos [...] y enseñan a la juventud acerca de los astros y su movimiento, de la grandeza del mundo y de la tierra. También Pomponio Mela *Chor.* (III, 2, 18) explica como los

*druidas* [...] pretenden conocer las dimensiones y la forma de la tierra y del Mundo, el movimiento del cielo y de los astros. El geógrafo Estrabón *Geo* (IV, 4, 4) explica algunas funciones más que desempeñan los druidas y su concepción última del Universo [...] Los vates (videntes) tienen funciones sagradas y estudian la naturaleza. Los druidas se dedican también al estudio de la naturaleza, pero añaden el de la filosofía moral [...] Afirman también (los druidas), tanto ellos como otros que las almas son indestructibles, como indestructible es el universo, aunque llegará el día en que el fuego y el agua prevalecerán sobre todo. Los depositarios de este conocimiento eran elementos muy importantes de la sociedad ya que entre sus funciones estaba la de regular el tiempo y sus distintos ciclos económicos y rituales. Es muy probable que existieran calendarios *exotéricos* que toda la sociedad podía manejar para las actividades cotidianas y otros de carácter *esotérico* cuyo conocimiento estaba reservado sólo a aquellos que podían comprenderlos y manejarlos. Estos calendarios *esotéricos* eran reflejo del orden divino en la tierra (Arco *et alii* 1994, 36).

## LA PLACA-CALENDARIO DE COLIGNY

El calendario celta más antiguo conocido hasta el momento es el denominado *Calendario de Coligny*, encontrado en 1897 en el actual Departamento de Ain, Francia. Está grabado sobre una placa de bronce con una serie de numerales en latín y nombres y términos en galo y en latín. Este calendario no es un calendario anual sino que se trata de un calendario quinquenal dividido, eso sí, en años individuales que podemos identificar por la repetición sucesiva de los nombres de los diferentes meses que componen cada año. De este modo el calendario lo conforman un total de 1.838 días. Éstos se reparten, a su vez, en 62 meses de 29 o 30 días. La duración de los años es de 12 meses, salvo en los años primero y tercero que tienen meses intercalares (Le Contel y Verdier, 1997).

En este sistema calendárico, los nombres de los años y de los días no parecen tener importancia, ya que no aparecen reflejados. Tampoco parece estar definido ningún tipo de concepto parecido a la actual semana. En cambio, cada mes posee nombre diferenciado y se divide en dos mitades, que se corresponde con una luna creciente y otra de luna menguante. Un periodo definido por el surgir de la luna hasta su plenitud y otra por la decadencia de esta desde su plenitud hasta la oscuridad. Este tipo de evolución cíclica desde la luz a la oscuridad y viceversa aparece frecuentemente en la cultura céltica, como veremos más adelante.

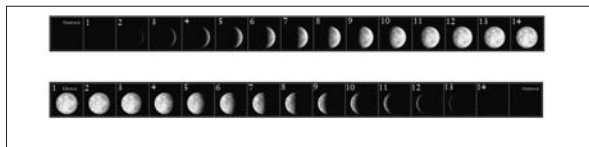


Fig. 2. Lunaciones celtas

A partir de la información que contiene la placa de Coligny todo parece indicar que este calendario era lunar en sus inicios. El problema del año lunar, como hemos visto, es que está formado por un número no entero de días, lo que se soluciona con un ajuste por exceso, de 355 días. Resulta, por lo tanto, un año de  $355 \times 5 = 1.775$  días. En algún momento de la vida útil del calendario se decidió, probablemente para asemejarlo al ciclo vegetal en general o tal vez más concretamente agrícola, añadir una serie de días para que coincidiera lo más posible con el año solar. Así, 1.838 días divididos en 5 años resultan 367,6 días por año, mucho más cercanos a los 365,2564 del año solar. Para realizar este ajuste al calendario lunar basta, como aparece en la placa, con añadir un mes adicional cada dos años y medio lunares. La placa de Coligny es en realidad un *calendario perpetuo*. Evidentemente esto no es Astrología, sino Astronomía y Matemática.

Tanto en el calendario céltico que conocemos como otras culturas de tradición indoeuropea empleaban dos líneas de cómputo del tiempo diferentes y paralelas. Una de ellas se correspondería con un *tiempo divino*, de los dioses, autónomo del tiempo de los humanos, y que posee medidas y proporciones siderales, propias del movimiento de los planetas, las estrellas y las constelaciones. Y que necesita del seguimiento sistemático de los planetas y las estrellas para poder establecer su cómputo. La otra línea temporal, el *tiempo de los humanos*, está formada por los ciclos lunares y solares, por su naturaleza resulta trópico, es mucho más corta en sus ciclos y además inexacta.

Ambos tiempos discurren paralelamente y tenían momentos de coincidencia que se establecían a través de determinadas efemérides astronómicas. En estos momentos tanto el *tiempo divino* como el *tiempo de los humanos* convergen, los distintos ámbitos del Universo se unirían y los dioses intervienen en el mundo humano. Los periodos más largos comprendidos entre los equinoccios formarían parte del *tiempo divino*, mientras que los periodos lunares, más cortos, forman parte del *tiempo humano*. Determinadas efemérides celestes como la alineación de planetas o la aparición de determinada estrella o constelación en determinada fecha o punto son los hitos que dentro del discurrir del *tiempo divino* permiten la coincidencia y la unión cíclica entre el *tiempo divino* y el *tiempo humano*. Esto es lo que

encontramos en la estructura del denominado *Calendario de Coligny* (Duval 1986; Le Contel 1997). A partir de estos sucesos astronómicos se situarían determinadas festividades religiosas o bien servirían como referencia para establecer un cómputo, basado en las fases lunares, que serviría para situar la celebración de festividades, conmemoraciones, asambleas, etc.

Plinio *Nat. Hist.* (XVI) recoge informaciones que, completadas con las de otros autores greco-romanos y la información que contiene el *Calendario de Coligny*, demuestran como en la Edad del Hierro lo que se denominaba *tiempo de los humanos* se medía en dos escalas complementarias e inseparables: una *lunar* y otra *solar*, o el denominado calendario o ciclo *sol-lunar*. De estos dos el *ciclo lunar*, más corto, es el que presenta más similitudes con el cómputo empleado por la mayoría de las sociedades en la actualidad. Su desarrollo debió ser anterior al del calendario solar, ya que el ciclo lunar se compone de trece meses de veintiocho días aproximadamente y su discurrir es constatable por cualquiera mediante la observación directa del cielo nocturno. En este sentido ya en los monumentos megalíticos y en otros posteriores se constatan suficientes elementos relacionados con este tipo conocimiento astronómico (Duval y Pinault 1986; Brunnaux 1986, 49-50; Almagro Gorbea y Gran Aymerich 1991, 191-205; Le Contel y Verdier 1997).

En este sistema de cómputo *sol-lunar*, la concepción del tiempo es cíclica, lo que permite pronosticar una serie de distintas efemérides astronómicas fundamentales: *equinoccios*, *solsticios* y eclipses. Esta forma de medida del tiempo evidencia una concepción del tiempo formada por una sucesión de ciclos repetitivos y de eterno retorno. Esta idea de un Universo formado por movimiento cíclico continuo será uno de los fundamentos de la teología celta y aparecerá frecuentemente más adelante: unos periodos en su decadencia engendran los siguientes que, tras su esplendor pasan a una fase de decadencia en la que se engendran de nuevo los siguientes y así sucesivamente.

El *ciclo solar* comprende periodos mucho más largos, de años, décadas, siglos e incluso milenios y por tanto resulta muchísimo más complejo. El desarrollo de este tipo de conocimiento requiere el establecimiento de observatorios astronómicos desde donde observar el cielo y realizar anotaciones que permitan la constatación de las repeticiones en el ciclo solar y los *solsticios*, *equinoccios* y eclipses que se producen dentro de unos márgenes temporales muy dilatados que exigen observaciones de hasta decenas y centenares de años. Estos ciclos y sus efemérides se pondrían en relación con las efemérides de planetas, estrellas y las constelaciones. Estas observaciones tendrían por fuerza



que implicar a muchas generaciones de especialistas realizando observaciones sistemáticas, anotaciones y cálculos. La constatación de un ciclo solar completo y la correcta duración del año sidereal requieren llevar a cabo unos cien años de observaciones continuas. [...] *Las estrellas sufren los mismos cambios, y siendo puntos luminosos pequeños y fáciles de situar en el firmamento por sus posiciones relativas (las constelaciones), constituyen un medio ideal de fijación de los ciclos [...] esto fue un paso fundamental. Implica la permanente observación celeste, y constituye, sin duda, el origen de la astronomía* (del Arco et alii 1994, 35).

## CALENDARIO ANUAL SOLI-LUNAR CELTICO

Denominamos *calendario soli-lunar* al periodo anual cuyo cómputo se establece a partir de los ciclos lunares y en el que se integran también las principales efemérides solares que se perciben desde la tierra, los *solsticios* y los *equinoccios*. La percepción que desde la tierra se tiene del tránsito solar establece dos periodos contrapuestos, que se corresponden con medio año lunar cada uno y que definen un año bipolar que estaría compuesto, básicamente, por dos grandes periodos:

- Un *semestre sombrío*, en el que las condiciones medioambientales son umbrías, con mayor duración de los periodos de oscuridad, y con un predominio de las condiciones atmosféricas frías.

- Un *semestre luminoso*, en el que las condiciones son más luminosas, con más duración de los periodos de luz, y cantidad relativamente mayor de días claros y despejados.

Esta estructura básica de cómputo del tiempo está relacionada con otros ciclos calendáricos de pueblos indoeuropeos, como el indio o el iranio y también, en el ámbito septentrional de la Península Ibérica, con formas de calendario tradicional que estudió J. Caro Baroja en el actual País Vasco (Caro Baroja 1984).

El calendario celta que conocemos está compuesto por el equivalente a los actuales días, meses, años y siglos. El calendario soli-lunar que ha llegado hasta la actualidad en la cultura tradicional irlandesa *gaélica*, está compuesto por 13 meses de veintiocho jornadas más el periodo ritual *Idad*, dedicado a la fiesta de *Samhain* o de los muertos. Este calendario está basado en la recopilación de una serie de tradiciones (Sainero 1987; Le Roux y Guyonvaric'h 1995, 13-25; Abella 1996, 19-21; Alberro 2003). Este esquema general coincide básicamente, aunque no exactamente, con el *Calendario de Coligny*, que tiene la misma estructura de meses lunares. Las fuen-

tes grecolatinas explican como para las gentes de cultura celta los días no comienzan al amanecer, sino al anochecer, y el cómputo de los días, los meses o los años comienza cada noche, por lo que resulta más adecuado hablar de *noches* o "jornadas" que de días. C. J. César B.G. (VI, 18) cuenta como [...] *hacen el cómputo de los tiempos no por días, sino por noches, y así en sus cumpleaños, en los principios de meses y años, siempre la noche precede al día*. Esta costumbre se preservó en la cultura tradicional irlandesa y se encuentra también en el denominado "calendario tradicional vasco" (Caro Baroja 1984-5). De este modo el amanecer no es el momento en el que el día comienza, sino su plenitud, y el día se divide en dos periodos diferenciados: un periodo de oscuridad y otro de luz.

El mes soli-lunar lo forman dos quincenas: una coincide con la fase de *luna menguante*, entre la luna llena y la luna negra o nueva, y es la que se denomina *quincena oscura*. Otra coincide con la fase de *luna creciente*, entre la luna negra o nueva y la luna llena, y sería la *quincena clara*. El momento de *luna llena* supone la plenitud y, al mismo tiempo, el comienzo de la decadencia del ciclo lunar. Pero, del mismo modo, la luna nueva supone el fin del ciclo lunar y al tiempo, de modo inseparable, el inicio del nuevo. Cada una de estas quincenas serían el equivalente al periodo menor que el mes y mayor que la jornada, que en nuestra cultura se denomina "semana". Sabemos que la luna negra era considerada desfavorable por los celtas y no se daba inicio a ninguna actividad o viaje en ese día. Del mismo modo sabemos que el plenilunio se considera como elemento favorable; y en el que se celebraban rituales. Es el autor griego Estrabón Geo. (III, 4, 16) el que recoge la costumbre de celebrar los plenilunios de los pueblos del norte de la Península Ibérica [...] *los celtíberos y sus vecinos del norte hacen sacrificios a un dios innominado, de noche en los plenilunios, ante las puertas, y que con toda la familia danzan y velan hasta el amanecer*. En este tipo de distribución temporal se encuentran paralelismos con algunas de las formas antiguas del calendario tradicional del actual País Vasco en las que las denominaciones de la actual semana provendrían de un sistema de medición del tiempo basada en las distintas fases de la lunación e incluso algunas designaciones del domingo se refieren, en origen, a la fiesta del plenilunio (Caro Baroja 1984, 87-99). Existen también celebraciones que se desarrollan durante el plenilunio dedicadas a la luna llena en otras áreas del cantábrico, como en Galicia (Caro Baroja 1977, 177-178; 1981b, 169). La pervivencia de festividades -e incluso de rituales- de origen céltico en el calendario cristiano está bien constatada en toda Europa (Frazer 1984; Mannhardt 2004).

La estructura básica del calendario anual está compuesta por 13 meses de 28 jornadas; un total de 364 noches, más la situada al principio del año, *Idad*. Sabemos que en la cultura celta, como en otras culturas del Mediterráneo oriental, los *solsticios* y *equinoccios* eran conocidos y estaban perfectamente fijados astronómicamente. La distribución de las principales efemérides astronómicas del ciclo solar anual, *solsticios* y *equinoccios*, se fija del siguiente modo:

- El *solsticio de verano* astronómicamente señala la jornada con el día más largo y la noche más corta y señala el comienzo de las jornadas que progresivamente tendrán menos duración del periodo de luz. Actualmente se celebra en la Fiesta de San Juan.

- El *solsticio de invierno* astronómicamente señala la jornada con el día más corto y la noche más larga y señala el comienzo de las jornadas que progresivamente tendrán mayor duración del periodo de luz. Actualmente se celebra en Navidad.

- El *equinoccio de primavera*, que se produce en el actual veintiuno de Marzo. Señala una de las dos jornadas del año, en este caso en la primavera, en el que el día y la noche duran exactamente lo mismo, pero en adelante las jornadas progresivamente tendrán más duración del periodo de luz. Actualmente se celebra en la festividad de San Nicolás.

- El *equinoccio de otoño*, que se produce en el veintitrés de Septiembre. Señala una de las dos jornadas del año, la que corresponde al otoño, en el que el día y la noche duran exactamente lo mismo, pero en adelante las jornadas tendrán progresivamente menos duración del periodo de luz. En la actualidad se celebra en la festividad de San Miguel Arcángel.

El calendario ritual celta tiene dos puntos meridionales claros en las festividades de *Beltaine*, en mitad del calendario anual (actualmente fiesta de Los Mayos o del Árbol de Mayo) y *Samhain*, *Trinox Samoni* o *Trinuxtion Samoni* (las tres noches de *Samoni* o *Samhain*) la fiesta del año nuevo celta y actual primero de Noviembre (actualmente fiesta de Difuntos-Todos los Santos). Ambas forman dos polos opuestos. Además de estas dos fiestas principales, tendríamos otras dos fechas rituales muy importantes en el calendario celta que son *Imbolc* o *Imbolg*, (la actual fiesta de La Candelaria) y *Lugnasad*, relacionada con la celebración de las cosechas asociadas a festividades de Vírgenes y patronas de tipo local (Le Roux y Guyonvaric'h 1995, 13-25)

Según la distribución tradicional conservada en Irlanda *Samhain* se celebra el 1 de

Noviembre, *Imbolc* el 1 de Febrero, *Beltaine* el 1 de Mayo y *Lugnasad* el 1 de Agosto, lo que sitúa muy proporcionadamente las festividades en el calendario ritual y con respecto a las efemérides astronómicas solares como veremos. P. M. Duval (1986) sitúa las fiestas en momentos intermedios entre estas efemérides, más próximos a donde los sitúa la tradición irlandesa. En realidad las fiestas no tendrían tanto que ver con cuestiones astronómicas, aunque la Astronomía sirviera para regular estas cuestiones, sino con otros contenidos de índole ideológico y económico-medioambiental que serían los verdaderamente importantes. Los ciclos lunares tenían una función más adecuada para fijar estas actividades, y las distintas festividades se situarían así aproximadamente unos cuarenta días después de las efemérides astronómicas que las preceden más inmediatamente (Sopeña 1987; Gaspani 1997; Baquedano y Escorza 1998, 95-96). Los hitos astronómicos marcan el inicio y final de lo que conocemos como estaciones, pero esa distribución no se corresponde exactamente con la situación medioambiental. Si incluimos situaciones de inestabilidad como las fluctuaciones climáticas ocurridas durante la Edad del Hierro, sería incluso arriesgado regirse por ellas (Ibáñez 1999; Torres-Martínez 2003a, 47-78). Si las efemérides astronómicas se emplean como referencias para situar celebraciones rituales, el año *litúrgico* adquiere mayor sentido. Esto encaja con los contenidos de muchas festividades que dentro de las tradiciones culturales europeas contienen una serie de celebraciones, en relación con las efemérides astronómicas, que no podemos adjudicar simplemente a la influencia romana ni cristiana, y que tendrían un origen claramente anterior (Abella 1996, 19-21; Le Roux y Guyonvaric'h 1995, 14).

Las lunaciones, que no coinciden realmente con los meses, son los siguientes:

Semestre Sombrio: 1º Lunación- *Samonios*, Abedul (*Betula pendula*), *Beth*, Noviembre; 2º Lunación- *Dvmannios*, Serbal (*Sambucus*), *Luis*, Diciembre; 3º Lunación- *Rivros*, Aliso (*Alnus*), *Fearn*, Enero; 4º Lunación- *Anagantios*, Sauce (*Salix*), *Sail*, Febrero; 5º Lunación- *Ogronios*, Fresno (*Fraxinus*), *Nión*; Marzo; 6º Lunación- *Cvtios*, Majuelo (*Crataegus monogyna*), *Huath*, Abril;

Semestre Luminoso: 7º Lunación- *Giamonios*, Roble (*Quercus*), *Duir*, Mayo; 8º Lunación- *Simivisonnos*, Acebo (*Ilex aquifolium*), *Tinne*, Junio; 9º Lunación- *Eqvos*, Avellano (*Corylus avellana*), *Coll*, Julio; 10º Lunación- *Elembvivos*, Vid (*Vitis*), *Muin*, Agosto; 11º Lunación- *Edrinios*, Hiedra (*Hedra helix*), *Gort*, Septiembre; 12º Lunación- *Cantlos*, Escobal (*Cytisus*), *Ngedal*, Octubre.

| DIFERENCIAS BÁSICAS EN EL CÓMPUTO DEL TIEMPO ENTRE LA CULTURA CELTA Y LA ACTUAL |          |                                                |                                                 |                                    |                     |                                                                         |
|---------------------------------------------------------------------------------|----------|------------------------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------|---------------------|-------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                 | JORNADAS | PERIODOS INFERIORES AL MES                     | FESTIVIDADES                                    | MESES                              | AÑOS                | PERIODOS SUPRAANUALES                                                   |
| <b>CÓMPUTO CULTURA CELTA</b>                                                    | NOCHES   | QUINCENAS DE CRECIENTES Y DECRECIENTES LUNARES | CADA PLENILUNIO Y OTRAS LITÚRGICAS Y CULTURALES | LUNARES DE 28 JORNADAS             | TRECE MESES LUNARES | SAITLON, AÑOS SOLARES Y PERIODOS COMPRENDIDOS ENTRE EFEMÉRIDES CÓSMICAS |
| <b>CÓMPUTO ACTUAL</b>                                                           | DÍAS     | SEMANAS DE SIETE DÍAS                          | CADA SIETE DÍAS Y OTRAS LITÚRGICAS Y CULTURALES | VARIABLES, DE 28, 29, 30 o 31 DÍAS | DOCE MESES          | CUATRIENIOS CON AÑOS BISIESTOS, DÉCADAS, SIGLOS, MILENIOS               |

Fig. 3. Diferencias entre el cómputo temporal celta y el nuestro

| CALENDARIO RITUAL ANUAL (con las coincidencias en las principales fiestas celtas y actuales) |        |                                  |        |                           |        |                                    |                     |        |                                |                                                  |         |                                |         |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|--------|----------------------------------|--------|---------------------------|--------|------------------------------------|---------------------|--------|--------------------------------|--------------------------------------------------|---------|--------------------------------|---------|
| FINAL Y PRINCIPIO DEL AÑO                                                                    | 1º MES | 2º MES                           | 3º MES | 4º MES                    | 5º MES | 6º MES                             | 7º MES              | 8º MES | 9º MES                         | 10º MES                                          | 11º MES | 12º MES                        | 13º MES |
| FIESTA DE SAMAIN O DE LOS MUERTOS                                                            |        | FIESTA DEL SOLSTICIO DE INVIERNO |        | FIESTA DE IMBOLG (BRIGIT) |        | FIESTA DEL EQUINOCCIO DE PRIMAVERA | FIESTA DE BELTAINE  |        | FIESTA DEL SOLSTICIO DE VERANO | FIESTA DE LUGNASAD                               |         | FIESTA DEL EQUINOCCIO DE OTOÑO |         |
| ↓                                                                                            |        | ↓                                |        | ↓                         |        | ↓                                  | ↓                   |        | ↓                              | ↓                                                |         | ↓                              | ↓       |
| FIESTA DE TODOS LOS SANTOS                                                                   |        | FIESTA DE NAVIDAD                |        | FIESTA DE SANTA BRÍGIDA   |        | SAN NICOLÁS                        | FIESTA DE LOS MAYOS |        | FIESTA DE SAN JUAN             | FIESTAS DE LA VIRGEN RELACIONADAS CON LA COSECHA |         | SAN MIGUEL ARCÁNGEL            |         |

Fig. 4. Calendario ritual anual

La luna decimotercera, fuera de la placa de Coligny se denominaba del Saúco (*Sambucus*), *Ruis. R.* Graves propone una secuencia alternativa con el mes Fresno-*Niön* el 3º, el mes Aliso-*Fearn* el 4º y el mes Sauce-*Sail* el 5º (Abella 1996, 20-21). Obviamente todas estas reconstrucciones pueden ser aceptadas como orientativas y resulta evidente que podrían contener elementos introducidos posteriormente, en época medieval.

#### CALENDARIO RITUAL, ECONOMICO, MEDIOAMBIENTAL

Como ya habíamos avanzado, podemos establecer cómo el calendario celta crea una estructura de tipo circular, cíclica y bipolar entre oscuridad y luz que afecta de modo coherente a

toda su estructura en sus ciclos anuales, mensuales y en sus jornadas. La oscuridad supone siempre la gestación de la luz y, al mismo tiempo, la decadencia de los periodos luminosos gesta el apogeo de la oscuridad. Es este un proceso continuo de muerte y renacimiento en el que existe "la certidumbre de un nuevo comienzo" que resulta común a muchos pueblos de la Antigüedad y otros actuales de tecnologías simples (Eliade 1994). Esta estructura circular, cíclica y bipolar se desarrolla como reflejo de la que se percibe en el funcionamiento del universo, del mundo conocido.

Pero más allá de esta estructura ideológica este calendario se constituye en una síntesis que explica a la perfección la íntima e intensa relación que se establece entre los pueblos de estas culturas y el medioambiente en el que habi-

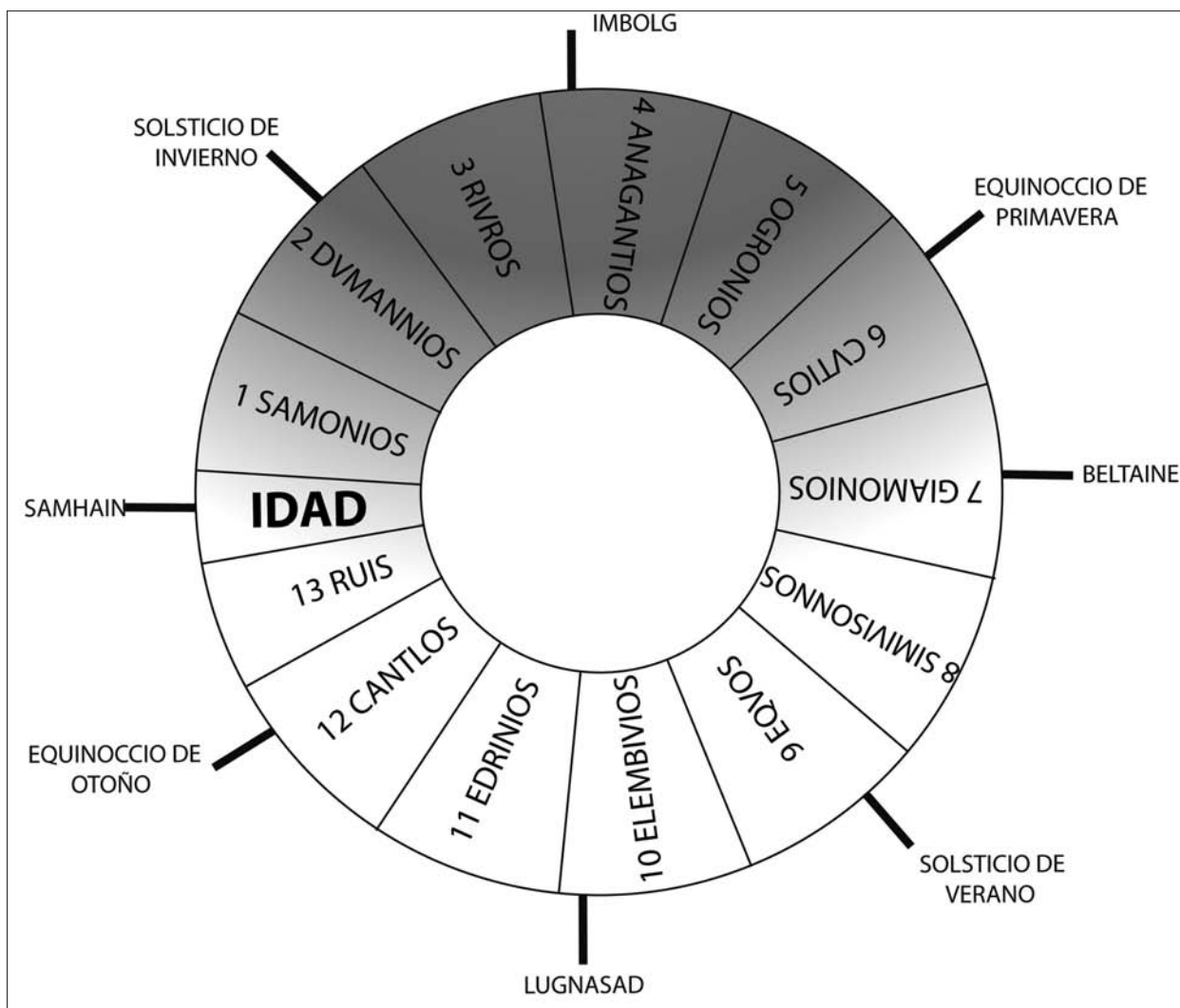


Fig. 5. Calendario ritual

tan, los distintos ecosistemas, sus recursos y el ciclo económico que permite la obtención de estos: todo un modo de vida. Desde esta perspectiva el calendario céltico nos habla sobre la vida en el Hemisferio Norte del planeta dentro del ámbito del norte de la Europa Templada, de las efemérides astronómicas visibles en ese cielo y de los distintos periodos ambientales que estas efemérides anunciaban. El calendario ritual (que en parte hemos heredado absorbido por el cristianismo que no pudo erradicarlo) nos da información sobre todas estas cuestiones reflejando esencialmente un modo de vida agro-ganadero y de explotación de los recursos naturales en el que lo religioso, lo político-social y lo económico estaban íntimamente unidos formando un todo holístico y enormemente coherente.

Los distintos periodos que implica una mayor dedicación social a la explotación recolectora, agrícola, ganadera, o los periodos más favorables para las actividades artesanales o

las actividades constructivas colectivas, todos tienen su espacio enmarcado dentro del calendario ritual. Resulta especialmente interesante la estrecha relación existente entre los periodos lunares y los ciclos de la vegetación silvestre (calendario recolector) o las cosechas (calendario agrícola) e igualmente entre los ciclos biológicos y reproductivos de los animales domésticos, lo que permite la planificación de las cosechas o de los movimientos de los ganados y sus ciclos reproductivos (calendario ganadero) (Ibáñez 1999; Torres-Martínez 2003, 216-234; 2005, 279-287; 2007, 321-329). Estas cuestiones, subyacentes en la estructura temporal del calendario céltico, resultan tan importantes como las astronómicas, religiosas y sociales, ya que sirven para establecer la estrecha unión existente entre lo cotidiano y lo sacro, lo más pequeño y lo más grande, lo divino y lo humano, a través de la vida, que discurre inmersa en la naturaleza y sus ciclos (Torres-Martínez 2007, 329-332).



## BIBLIOGRAFIA

- Abella, I., 1996, *La Magia de los Árboles*, Ed. Integral, Barcelona.
- Alberro, M., 2003, "Características de las antiguas sociedades de Irlanda y su posible utilización para un mejor conocimiento de los pueblos celtas de la Península Ibérica", *Gerión* Vol. 21, pp. 99-135.
- Albizuri, S., 2001, "Estudio arqueozoológico de los mamíferos salvajes y domésticos de la Campa Torres (Gijón) estrato de los siglos II y I a. C.", en Maya González, J. L. y Cuesta Toribio, F. (Eds.) *El Castro de la Campa Torres. Periodo Prerromano*, Gijón, pp. 317-347.
- Almagro-Gorbea, M. y Gran-Aymerich, J., 1991, *El estanque monumental de Bribracte (Mont Beuvray, Borgoña)*. 1ª Ed., Complutum Extra, 1, Madrid.
- Argente Oliver, J. L.; Díaz Díaz, A. y Bescós Corral, A., 2000, *Tiermes V. Carratiermes Necrópis Celtibérica*. Arqueología en Castilla y León, 9, Consejería de Educación y Cultura, Junta de Castilla y León, Valladolid.
- Arco del, E.; González, C.; Padilla C. y Timón, M. P., 1994, *España: Fiesta y Rito. Tomo I. Fiestas de Invierno*. Colección Caminos Abiertos, Ediciones Merino S. A, Madrid.
- Arnold, B., 1996, "The material culture of social structure: rank and status in early Iron Age Europe", en B. Arnold y D. B. Gibson, *Celtic chieftdom, Celtic state*, New Directions in Archaeology, Cambridge University Press Eds. Cambridge, pp. 43-52.
- Baquedano, I. y Escorza, C. M., 1998, "Alineaciones astronómicas en la necrópolis de la Edad del Hierro de La Osera (Chamartín de la Sierra, Ávila)", *Complutum*, 9, Madrid, pp. 85-100.
- Brunaux, J. L., 1986, *Les Gaulois. Santuaires et rites*, Collection des Hesperides, Editions Errance, Paris.
- Cadoux, J. L., 1989, *Rivemont-sur-Ancre (Somme)*, Archéologie de la France, 288, Paris.
- Caro Baroja, J., 1985, *Los vascones y sus vecinos. Estudios Vascos*, XIII, Editorial Txertoa, San Sebastián.
- Caro Baroja, J., 1984, *Sobre la Religión antigua y el calendario del Pueblo Vasco*, Estudios Vascos, 1, Colección Askatasun Hizea. Editorial Txertoa, San Sebastian.
- Caro Baroja, J., 1979, *La estación del amor (Fiestas populares de Mayo a San Juan)*. *La otra Historia de España*, 3, Taurus Ediciones, Madrid.
- Caro Baroja, J., 1977, *Los Pueblos del Norte*, Editorial Txertoa, San Sebastián.
- Cerdeño, M. L.; Rodríguez-Caderot, G.; Moya, P. E. y Ibarra, A., 2006, "Los estudios de Arqueoastronomía en España: Estado de la Cuestión", *Trabajos de Prehistoria*, 63, Madrid, pp. 13-34.
- Cerdeño Serrano, M. L.; Rodríguez Caderot, G.; Folgueira, M.; Hernández, M. C. y Corraliza, R., 2004, "Novedades culturales y metodológicas en la necrópolis de Herrería (Guadalajara)", en Barril Vicente, M. (Coord), *Novedades Arqueológicas Celtibéricas*, Madrid, pp. 43-62.
- Cerdeño Serrano, M. L.; Rodríguez Caderot, G. y Folgueira, M., 2002, "El paisaje funerario de la cultura celtibérica", *Soliferreum*. Nº 17-18, 2001-2002. *Studia archaeologica et histórica Emeterio Cuadrado Díaz ab amicis, collegis et discipulis dicata*, Universidad de Murcia, Murcia, pp. 177-185.
- Chapman, H. P. y Gearey, B. R., 2000, "Paleoecology and the perception of prehistoric landscapes: some comments on visual approaches to phenomenology", *Antiquity*, 74, June 2000, pp. 316-319.
- Duval, P. M. y P., G., 1986, *Recueils des Inscriptions Gauloises (RIG) III. Les Calendriers (Coligny, Villards d'Héria)*. XLV Suplément à *Gallia*, Recueils des Inscriptions Gauloises (RIG), 15. Centre National de la Recherche Scientifique, Paris.
- Elíade, M., 1994, *Mito y Realidad*. 2ª. ed. Colección Labor, Nueva Serie 8, Editorial Labor, Colombia.
- Esteban, C., 2002, "Elementos astronómicos en el mundo religioso y funerario ibérico", *Trabajos de Prehistoria*, 59, pp. 81-100.
- Esteban, C. y Moret, S., 2006, "Ciclos de Tiempo en la Cultura Ibérica: La Orientación Astronómica en el Templo del Tossal de Sant Miquel de Lliria", *Trabajos de Prehistoria*, 63, No 1, 2006, Madrid, pp. 167-178.
- Fernández Rodríguez, C., 2001, "La alimentación cárnica en el castro costero de O Achadizo (Cabo Cruz, Boiro, A Coruña)", *Gallaecia*, 20, pp.165-187.

- Frazer, J. G., 1984, *La rama dorada. Un estudio sobre magia y religión*. Sección de Obras de Sociología. Fondo de Cultura Económica, Madrid.
- García Quintela, M. V. y Santos Estévez M., 2004, "Alineación arqueoastronómica en A Ferradura (Amoeiro-Ourense)", *Complutum*, 15, Madrid, pp. 51-74.
- Gaspani, A., 1999, *La Cultura di Golaseca. Cielo, luna e stelle dei primi Celti d'Italia. Collana di Storia Antica. Le Antiche Querce*. Keltia Editrice, Aosta.
- Gaspani, A. y Cernuti, S., 1997, *L'Astronomia dei Celti. Stelle e misura del tempo tra Druidi*. Le Antiche Querce. Keltia Editrice, Aosta.
- Green, M. J., 2001, *Mitos Celtas*, Colección El Pasado Legendario, Akal Ediciones, Madrid.
- Harding, A. F., 2003, *Sociedades europeas en la Edad del Bronce*, Ariel Prehistoria, Editorial Ariel, Barcelona.
- Hernando Gonzalo, A., 1999a, "El Espacio no es necesariamente un lugar: entorno al concepto de Espacio y sus implicaciones en el estudio de la Prehistoria", en Burillo Mozota, F. (ed.) *Arqueología Espacial*, 2, Teruel, pp. 7-27.
- Hernando Gonzalo, A., 1999b, "Percepción de la realidad y Prehistoria. Relación entre la construcción de la realidad y la complejidad socioeconómica en los grupos humanos", *Trabajos de Prehistoria*, 56, pp. 19-35.
- Hoskin, M., 1994, *Andalucía: Astronomía y prácticas funerarias en el mediodía ibérico*, en Belmonte Avilés, J. A. (Ed.), *ArqueoAstronomía Hispana. Prácticas astronómicas en la Prehistoria de la Península Ibérica y los Archipiélagos Balear y Canario*, Equipo Sirius, Madrid, pp. 133-158.
- Ibañez González, J., 1999, "Evolución de la potencialidad agrotérmica en la celtiberia durante la Edad del Hierro", en *IV Simposio sobre los Celtíberos. Economía*, Zaragoza, pp. 11-46.
- Iwaniszewski, S., 1994, "De la Astroarqueología a la Astronomía Cultural", *Trabajos de Prehistoria*, 51, 2, pp. 5-20.
- Kristiansen, K. y Larsson, T. B., 2006, *La emergencia de la sociedad del Bronce. Viajes, transmisiones y transformaciones*. Bellaterra Arqueología, Editorial Bellaterra, Barcelona.
- Le Contel, J. M. y V., Paul., 1997, *Un Calendrier Celtique. Le calendrier gaulois de Coligny*. *Archéologie Aujourd'hui*, Editions Errance. Paris.
- Le Roux, F. y Guyonvarc'h, C.-J., 1995, *Les fêtes celtiques*, Editions Ouest-France. Rennes.
- Lévi-Strauss, C., 2002, *El Pensamiento salvaje*. Colección Breviarios del Fondo de Cultura Económica, 173, Fondo de Cultura Económica, Madrid.
- Liesau von Lettow-Vorbeck, C. y García García, J., 2002, "Los restos óseos: estudios de Paleodietas y de industria ósea", en Berrocal-Rangel, L.; Martínez Seco, P. y Ruiz Triviño, C. (Eds.), *El Castiellu de Llagú. Un castro Astur en los orígenes de Oviedo*, Real Academia de la Historia y Principado de Asturias, pp. 259-282.
- Mannhardt, W., 2004, *Wald-und Feldkulte. Der Baumkultus der Germanen und ihrer Nachbarstämme mythologische Untersuchungen*, Elibron Classics, Berlin.
- Marco Simón, F., 1986, "La religión de los celtíberos", en Burillo Mozota, F. (ed.) *I Simposium sobre los Celtíberos*, Zaragoza, pp. 55-74.
- Meller, H., 2006, *Die Himmelsscheibe von Nebra. Der Geschmiedete Himmel. Die weite Welt im Herzen Europas vor 3600 Jahren*. Catálogo de la Exposición celebrada en el Landesmuseum für Vorgeschichte, en Halle (Saale), H. Meller, Dir. Theiss Ed. Stuttgart. pp. 22-31.
- Moreau, M., 1978, *Las civilizaciones de las estrellas*, Plaza y Janés Ed., Barcelona.
- Rebullida Conesa, A., 1994, "Astronomía y Matemática en el Neolítico y el Calcolítico", en Belmonte Avilés, J. A. (Ed.), *ArqueoAstronomía Hispana. Prácticas astronómicas en la Prehistoria de la Península Ibérica y los Archipiélagos Balear y Canario*, Equipo Sirius, Madrid, pp. 99-132.
- Rodríguez-Caderot, G.; Cerdeño, M. L.; Folgueira, M. y Sagardoy T., 2006, "Observaciones topoastronómicas en la Zona Arqueológica de El Ceremeño (Herrería, Guadalajara)", *Complutum*, 17, Madrid, pp. 133-143.
- Sainero, R., 1987, *La huella celta en España e Irlanda*, Akal Bolsillo, 172, Ediciones Akal, Madrid.
- Schlosser, W., 2006, *Die Himmelsscheibe von Nebra-Astronomische Untersuchungen. Der Geschmiedete Himmel. Die weite Welt im Herzen Europas vor 3600 Jahren*. Catálogo de la Exposición celebrada en el Landesmuseum für Vorgeschichte, en Halle (Saale), H. Meller, Dir. Theiss Ed. Stuttgart, pp. 44-47.

- Schulten, A., 1963, *Geografía y etnografía antiguas de la Península Ibérica*, Vols.I y II Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Instituto Rodrigo Caro de Arqueología, Madrid.
- Schwartz, K., 1975, *Die Gesichte eines keltischen Temenos im nördlichen Alpengebiet. Ausgrabungen in Deutschland (1950-1975)*, Vol 1 Monographien. Römisch-Germanisches Zentral Museum, 1. Mainz, pp. 324-358.
- Sopeña Genzor, G., 1987, *Dioses Ética y Ritos. Aproximaciones para una comprensión de la religiosidad entre los pueblos celtibéricos*, Zaragoza.
- Torres-Martínez, J. K., 2003a, *La economía de los celtas de la Hispania Atlántica. Vol. I. Agricultura, ganadería y recursos naturales*, Serie Keltia, 21, Editorial Toxosoutos. A Coruña.
- Torres-Martínez, J. F. K., 2003b, "Recursos naturales y economía de los cántabros de la Edad del Hierro", *Complutum*, 14, Madrid, pp. 169-196.
- Torres-Martínez, J. K., 2005, *La economía de los celtas de la Hispania Atlántica, Vol. II. Economía, territorio y sociedad*, Serie Keltia, 28, Editorial Toxosoutos, A Coruña.
- Torres-Martínez, J. F., 2007, "De los días y los trabajos: el calendario anual en las sociedades célticas de la Península Ibérica. Pasado y Presente de los Estudios Celtas", en Sainero Sánchez, R. y Almagro-Gorbea, M. (coord.), Fundación Ortegalia. Instituto de Estudios Celtas, Ortigueira, pp. 305-347.
- Valdés, L. y Pujana, I., 2003, "El santuario protohistórico de Gastiburu y el calendario estacional (siglos IV al I a. C.)", *Bolskan*, Nº 19 (2002). Ponencias y Comunicaciones presentadas en el XXVII Congreso Nacional de Arqueología. Huesca 6-8 de Mayo de 2003. Instituto de Estudios Altoaragoneses, Huesca, pp. 249-254.





**A6.3. "Estudio arqueoastronómico de la necrópolis Kerma de Abri-Amir 'Abdallah (Nubia sudanesa)"**

# Estudio arqueoastronómico de la necrópolis Kerma de Abri-Amir ‘Abdallah (Nubia sudanesa)

## *Archaeoastronomical analysis of the Kerma Cemetery of Abri (Sudanese Nubia)*

Javier MEJUTO\*, César RODRÍGUEZ\*\*

\* Departamento Física de la Tierra, Astronomía y Astrofísica I. Facultad de Ciencias Físicas. Universidad Complutense de Madrid. Plaza de las Ciencias, 2 (Ciudad Universitaria), 28040 Madrid. mejugon@fis.ucm.es

\*\* Facultad de Ciencias Matemáticas. Universidad Complutense de Madrid. Plaza de las Ciencias, 3 (Ciudad Universitaria), 28040 Madrid. kaiserv12@yahoo.es

Recibido: 31-03-2009

Aceptado: 15-06-2009

### RESUMEN

*El presente trabajo realiza un estudio pormenorizado de las posibles orientaciones que aparecen en el cementerio kerma de Abri-Amir Abdallah (Provincia del Norte, Sudán). Se tratan un total de 40 tumbas atendiendo a diversos parámetros como el sexo y el periodo en el que la tumba fue excavada. Aparecen orientaciones tanto a los puntos cardinales como al río Nilo.*

**PALABRAS CLAVE:** *Cultura Kerma. Orientación en necrópolis. Río Nilo. Nubia. Sudán.*

### ABSTRACT

*In this work the orientations of the graves in the Kerma cemetery of Abri-Amir ‘Abdallah (Northern Province, Sudan) are analysed. A total of 40 burials are studied attending to parameters such as sex and the period when tombs were excavated. Orientations appear both to the cardinal points and the Nile River.*

**KEY WORDS:** *Kerma culture. Cemeteries orientations. Nile River. Nubia. Sudan.*

**SUMARIO** 1. Introducción. 2. Ámbito Geográfico. 3. La cultura Kerma. 4. La necrópolis. 5. Tratamiento de los datos. 6. Discusión y conclusiones.

## 1. Introducción

La misión arqueológica española en Sudán financiada por la Fundación Durán-Vall Llosera realizó sus trabajos de campo en Abri (Provincia del Norte), en la Nubia sudanesa, entre 1978 y 1981. La misión estaba dirigida por el Prof. Martín Almagro Basch y los trabajos de campo y publicaciones estuvieron a cargo del Prof. Víctor M. Fernández Martínez. El presente estudio utiliza los datos obtenidos por V. M. Fernández durante la cuarta campaña de excavaciones, que tuvo lugar entre los meses de enero y febrero de 1981. En dicha campaña se procedió a la excavación de 40 tumbas de la cultura Kerma detectadas en los trabajos arqueológicos del año anterior.

## 2. Ámbito geográfico

Sudán, en la actualidad, se encuentra dividido en 26 provincias. La región seleccionada para el presente trabajo es la provincia de ash-Shamaliyah (Provincia del Norte), situada en el extremo más septentrional del país. Se halla entre la frontera sur

de Egipto y la capital, Al-Khurtum (Jartum), correspondiendo históricamente con la extensión máxima de las culturas y los reinos nubios entre la prehistoria y la época cristiana medieval. Se trata de una zona realmente poco poblada en comparación con el resto de las provincias. En esta región, la densidad de población se encuentra justo por encima de 1,5 habitantes por kilómetro cuadrado, mientras que en el resto del país es de 14,8 habitantes por kilómetro cuadrado.

La baja densidad de población en esta zona se explica por la existencia de dos áreas diferenciadas: una desértica de enorme extensión y el estrecho valle del río Nilo. Este valle separa el desierto de Nubia al Este y el desierto de Libia al Oeste. El cementerio Kerma de Abri – Amir 'Abdallah se encuentra a escasos kilómetros de Abri (20° 47' 58.92" N, 30° 21' 25.88 E). Podemos situar aproximadamente el cementerio donde aparece esbozado en la figura 1.

Es importante para el estudio posterior resaltar el cambio de dirección que sufre el Nilo en esta zona. El río, que primero discurre prácticamente de Sur a Norte y luego describe un meandro de unos 10 kilómetros de radio cambiando su dirección de

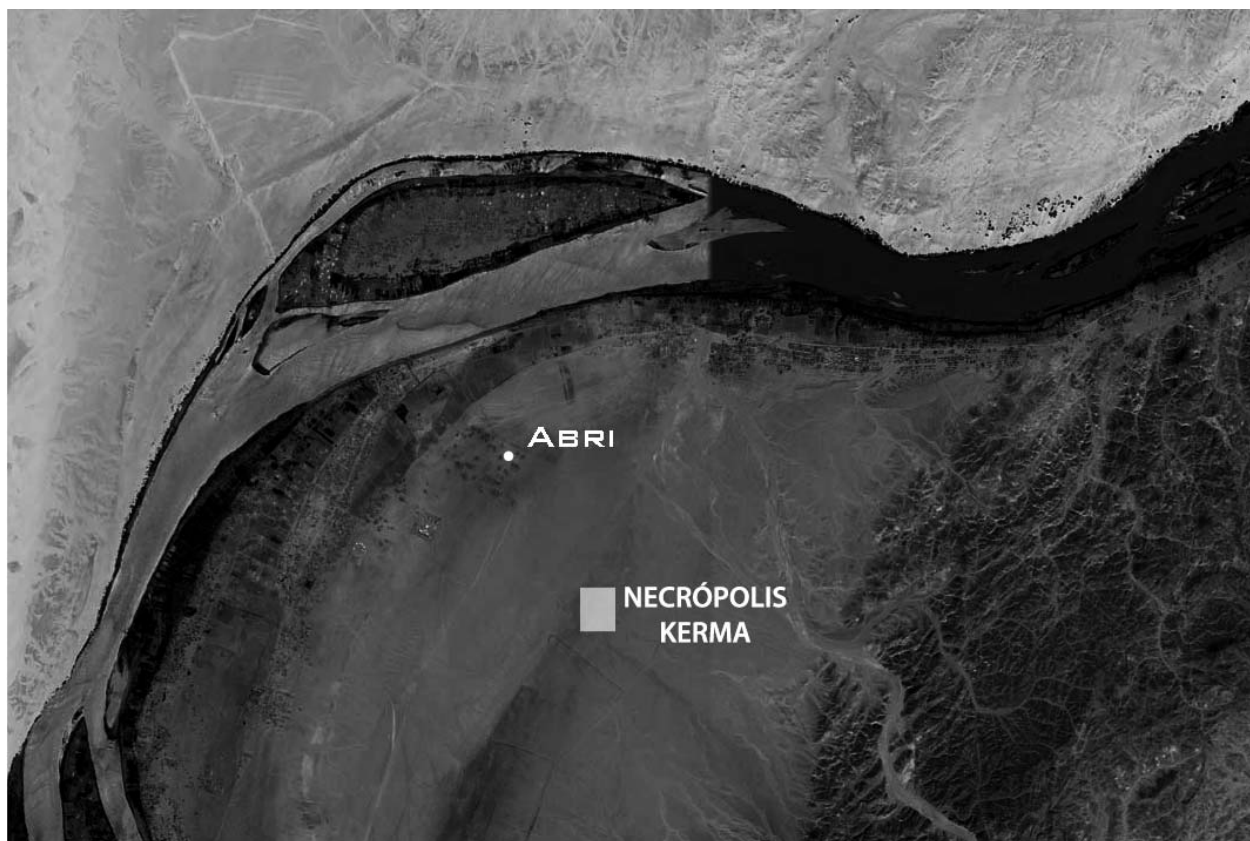


Figura 1.- Área geográfica del estudio. Fuente: Google Earth.

Oeste a Este. Posteriormente, vuelve a cambiar a su antigua dirección una veintena de kilómetros más adelante (figura 1).

Al Este y al Norte de Abri se aprecian antiguos cauces y huellas de erosión fluvial previos al cambio del cauce que llevaba el río, en línea recta de Sur a Norte en esta zona. El lugar de estudio se halla al final de una serie de depósitos aluviales testigos del antedicho antiguo curso fluvial.

### 3. La cultura Kerma

La cultura nubia de Kerma fue descubierta en las proximidades de la ciudad que lleva el mismo nombre, y que a su vez se utilizó para denominar a la nueva cultura. Los primeros trabajos arqueológicos, entre los años 1913 y 1916, llevados a cabo por G.A. Reisner (1923), excavaron túmulos funerarios de gran importancia que tuvieron que corresponder forzosamente a los máximos jerarcas de un reino estatal, que no conoció la escritura pero que mantuvo importantes relaciones comerciales con el Egipto faraónico. En algunas de estas tumbas se encontraron un alto número de cadáveres de individuos fallecidos en el momento del enterramiento, que correspondían muy probablemente a esclavos sacrificados para acompañar a su dueño en la ultratumba. Todo ello hace que la cultura cuente con dos méritos en cierta manera contradictorios, el de ser el primer reino del África subsahariana (o al menos sub-mediterránea), y el de presentar el mayor número de sacrificios humanos conocido arqueológicamente en todo el mundo.

A partir de 1977, una misión arqueológica suiza de la universidad de Ginebra, dirigida por Charles Bonnet y actualmente por Matthieu Honnegger, de la universidad de Neuchâtel (Honnegger 2001), ha llevado a cabo sin interrupción amplias excavaciones en la ciudad y sus alrededores, sacando a la luz impresionantes restos (templos, sala circular de audiencias, grandes necrópolis, etc.) de esa cultura, además de otros anteriores prehistóricos y más recientes de época Nápata (primer milenio a.C.), como las esculturas de faraones que han justificado la construcción de un museo de arqueología en la ciudad, que ha tenido un enorme éxito entre la población local (Bonnet 1978, 1983, 1986, 1987, 1988, 1991, 1994, 1996; Bonnet y otros 2000, etc.). Los trabajos en Kerma y los de la vecina isla de Sai por la arqueóloga francesa Brigitte Gratien (1978) han

permitido elaborar una seriación temporal de la cultura, tal como se describe a continuación.

La cultura Kerma abarca la segunda mitad del tercer milenio y primera del segundo antes de Cristo, y en ella se pueden distinguir cuatro periodos: Kerma Antiguo (KA, ca. 2500-2000 a.C.), Kerma Medio (KM, ca. 2000-1750 a.C.), Kerma Clásico (KC, ca. 1750-1500 a.C.), Kerma Reciente (KR). Este último periodo abarca los últimos compases de la cultura a partir de 1500 a.C, que es cuando se produjo la conquista egipcia de la región y su integración política y cultural al imperio, todo ello coincidente con el inicio del Imperio Nuevo en Egipto.

### 4. La necrópolis

Como se ha comentado anteriormente, en la necrópolis se excavó la totalidad de sus tumbas, cuarenta enterramientos. Las tumbas fueron numeradas entre los números 600 y 639 por motivos metodológicos (las centenas anteriores se utilizaron para las tumbas de la gran necrópolis de época meroítica antigua, últimos tres siglos a.C., excavada en las proximidades) (Fernández 1982, 1986; Tranco 1982). Un porcentaje del 62,5% de los enterramientos se hallaban intactos sin haber sufrido violación alguna. La datación del yacimiento corresponde a un periodo situado entre el Kerma Medio y el Kerma Clásico, lo que se comprueba tanto por razones tipológicas (cerámicas del KM al comienzo y del KC en las tumbas finales del cementerio) como por las fechas de radiocarbono (una sola fecha que calibrada se coloca hacia 1750 a.C.).

Estructuralmente los enterramientos son pozos simples sin ningún tipo de cámara excavada. Los cuerpos aparecen en la posición central de la tumba salvo en un par de casos, al Noroeste en el caso de la tumba 606 y al Este en la tumba 622. La posición de los cuerpos está efectuada con el cuerpo contraído, en la postura tradicional nubia que aparece desde el Neolítico (figura 2). Existen pequeñas variaciones de esta postura (Fernández 1982) que, sin embargo, no parecen de interés para el presente estudio.

Las tumbas no son muy profundas (en torno a un metro de profundidad) y tampoco son de gran tamaño; hay que tener en cuenta que muchas de ellas poseen el tamaño justo para que se pueda introducir un cuerpo. En cuanto a la distribución poblacional existen diecisiete tumbas de varones, die-



**Figura 2.-** Tumba 627, se puede apreciar la forma de enterramiento Kerma y la orientación del cuerpo dentro de la tumba (según Fernández 1982).

ciocho de mujeres y seis infantiles, datos de una población muy equitativamente distribuida que pudo haber correspondido a un pequeño asentamiento de pastores de entre 5 y 10 individuos. Por último se aprecian diferenciadores de rango social basados en el tamaño de la tumba, el lecho funerario -sobre el suelo, plancha de madera y/o cestería o lecho de madera- y la cantidad de ajuar, que señalan a las mujeres como poseedoras de un mayor estatus social que los hombres.

## 5. Tratamiento de los datos

Los ángulos medidos, que se refieren al ángulo que forman los ejes longitudinales de las fosas, fueron medidos en principio en grados centesimales. Dichos ángulos se tomaron en sentido horario desde la dirección del Norte Magnético.

Los datos sobre los que hemos trabajado se refieren a medidas angulares que en ningún caso supe-

ran la precisión del grado centesimal (Tabla 1), y su número de 40 medidas es insuficiente para establecer unas conclusiones definitivas, aunque sí lo sean en lo que respecta a la necrópolis y puedan servir para detectar ciertas tendencias susceptibles de ser estudiadas en mayor profundidad y con un

| TUMBA | ÁNGULO (centesimal) | SEXO | PERIODO |
|-------|---------------------|------|---------|
| 600   | 80                  | V    | KC      |
| 601   | 110                 | H    | KC      |
| 602   | 103                 | V    | KC      |
| 603   | 40                  | ?    | KC      |
| 604   | 65                  | H    | KC      |
| 605   | 115                 | I    | KM      |
| 606   | 95                  | V    | KC      |
| 607   | 107.5               | V    | KM      |
| 608   | 75                  | H    | KM      |
| 609   | 62                  | H    | KM      |
| 610   | 78                  | V    | KM      |
| 611   | 90                  | H    | KC      |
| 612   | 100                 | H    | KC      |
| 613   | 120                 | V    | KC      |
| 614   | 65                  | H    | KC      |
| 615   | 95                  | V    | KC      |
| 616   | 125                 | V    | KC      |
| 617   | 80                  | H    | KM      |
| 618   | 102                 | I    | KM      |
| 619   | 107.5               | H    | KM      |
| 620   | 80                  | H    | KM      |
| 621   | 78                  | V    | KC      |
| 622   | 120                 | V    | KM      |
| 623   | 65                  | H    | KM      |
| 624   | 130                 | H    | KM      |
| 625   | 120                 | V    | KM      |
| 626   | 140                 | H    | KM      |
| 627   | 120                 | I    | KM      |
| 628   | 105                 | I    | KC      |
| 629   | 110                 | V    | KC      |
| 630   | 90                  | V    | KC      |
| 631   | 105                 | I    | KM      |
| 632   | 110                 | V    | KM      |
| 633   | 95                  | H    | KM      |
| 634   | 75                  | V    | KM      |
| 635   | 80                  | H    | KM      |
| 636   | 100                 | V    | KM      |
| 637   | 70                  | V    | KM      |
| 638   | 118                 | H    | KM      |
| 639   | 135                 | I    | KM      |

**Tabla 1.-** Serie de datos de las tumbas. Ángulos: grados centesimales respecto al norte magnético. Sexo: V (Varón), H (Hembra), I (Infantiles). Período: KM (Kerma Medio), KC (Kerma Clásico).

| <b>EVENTO ASTRONÓMICO</b>      | <b>ORTO</b> | <b>OCASO</b> |
|--------------------------------|-------------|--------------|
| <b>Equinoccio de Primavera</b> | 89.95°      | 270.19°      |
| <b>Solsticio de Verano</b>     | 63.99°      | 295.83°      |
| <b>Equinoccio de Otoño</b>     | 89.88°      | 269.83°      |
| <b>Solsticio de Invierno</b>   | 115.41°     | 244.52°      |

**Tabla 2.-** Azimut de solsticios y equinoccios en el orto y el ocaso para el año 1750 a.C.

mayor número de datos procedentes de otros yacimientos. Para el desarrollo de este trabajo estadístico, hemos utilizado como herramienta el paquete SPSS, que nos ha permitido realizar los cálculos y contrastes entre diferentes hipótesis de trabajo.

Así pues, nos encontramos con un volumen de datos correspondiente a 40 tumbas y ordenados según el número asignado a cada una de ellas. Lo primero que hicimos con ellos fue efectuar la conversión de grados centesimales a grados sexagesimales. Todas las medidas y resultados expuestos en el presente trabajo están expresados en grados sexagesimales.

Los resultados arrojan una media de 86,87° con una desviación típica de 20,48° y con una mediana de 90°. Es decir, sin tener en cuenta ningún parámetro resulta una orientación muy próxima al eje Este-Oeste, como ya se apuntaba en el trabajo de Fernández (1982).

Valorando todos los parámetros sociales y cronológicos estudiados en la necrópolis (Fernández 1982) parece conveniente pormenorizar este estudio con ellos. De todos ellos solamente hemos considerado útiles para el trabajo, por la representatividad del número de tumbas, el sexo de los difuntos, si la tumba perteneció a un individuo adulto o infantil (en el caso de una tumba infantil, no aparece consignado el sexo pues no es posible acceder al mismo a partir de los huesos) y el período concreto dentro de la cultura Kerma en la que la tumba fue construida.

Se comenzó, por lo tanto, con un análisis estadístico, que aquí no reproduciremos, de los datos para contrastar todas las hipótesis relacionales que podrían existir entre las variables. Entre los test estadísticos realizados, hemos de destacar los test de normalidad, de diferencia de medias, de correlación y la obtención de los parámetros estadísticos básicos para nuestro estudio.

Según los resultados podemos descartar una diferencia significativa entre los enterramientos que

se efectuaron durante el periodo Kerma Medio y el Kerma Clásico. Las medias de las direcciones medidas para tumbas de estos periodos son 82.7° y 89.6° respectivamente. Es decir, pese a que una primera impresión parece confirmar una variación angular en las orientaciones de las tumbas, el estudio estadístico riguroso de los datos (test de la diferencia de las medias) descarta dicha posibilidad.

Lo mismo ocurre en cuanto al sexo de los cuerpos que aparecen en la necrópolis, ya que podemos descartar estadísticamente una dependencia. Las medias resultan de 88.75° para los hombres y 82.26° en el caso de las mujeres. Aquí nos encontramos en la misma situación que antes: a primera vista, se observa una diferencia de más de 6° en las orientaciones en función del sexo, pero es una diferencia que no resulta estadísticamente significativa por cuanto las desviaciones típicas de ambos grupos son demasiado grandes.

El caso más interesante es el que aparece en referencia a la relación entre adultos y niños. En particular, los enterramientos de mujeres e infantiles. Como se ha comentado en el párrafo anterior, en las mujeres el ángulo tiende a dirigirse hacia el E, es decir, hacia 90°, cosa que ocurre también con las tumbas masculinas. En cambio, para las tumbas infantiles el ángulo medio, de 103.86°, parece tender a formar un ángulo recto con el primer tramo del río antes de realizar el meandro hacia el Este. La desviación de las tumbas femeninas respecto de la línea E-W es de unos 8° mientras que en el caso de los enterramientos infantiles la desviación de la línea perpendicular al río es de unos 10°.

Además de todas estas posibles diferencias en función de la época de enterramiento y del sexo, en nuestro trabajo también hemos estudiado las posibles relaciones y diferencias teniendo en cuenta ambos parámetros de forma conjunta. Es decir, hemos cruzado los datos de época y sexo para estudiar todas las posibles combinaciones y diferencias que pudiesen existir, sin encontrar ninguna asociación significativa.

Por tanto, la única diferencia estadísticamente significativa que hemos encontrado en las orientaciones de las tumbas, en función de los distintos parámetros estudiados, ha sido entre los enterramientos infantiles y los enterramientos de adultos de sexo femenino. A falta de un estudio más pormenorizado con un mayor número de datos, siempre deseable, parece que existe algún tipo de diferencia en el tratamiento de la muerte en función de la edad.

## 6. Discusión y conclusiones

En el estudio de las culturas que habitaron esta delimitación geográfica se ha podido constatar la atención que siempre se le prestaba al río Nilo y al Sol, que permitían la vida haciendo crecer las cosechas en un clima tan desfavorable. Parece claro pensar que la atención al espacio celeste fue crucial en el desarrollo de estas culturas ya que permitió prever el ciclo de ocurrencia de las crecidas del Nilo mediante el orto heliaco de la estrella Sirio (Wells 1985; Krauss 2002), y que llevó a regular el tiempo anual a partir de dicha fecha dando lugar al calendario sotíaco egipcio de tipo solar (Clagett 1995).

Para reflejar la importancia que tuvo el conocimiento astronómico en la cultura egipcia, y por influencia suya también en las culturas nubias, bastan un par de ejemplos sacados del panteón egipcio, Ra y Sotis. La deidad principal era ostentada por Ra, el dios Sol. En él los faraones veían justificada su posición social preeminente y dado su parentesco directo con la deidad eran responsables del equilibrio universal. Isis-Sotis, identificada con la estrella Sirio ( $\alpha$ -Canis Majoris) y habitualmente representada con una estrella de cinco puntas sobre la cabeza (Hart 1986), es la divinización de la estrella que servía de guía para el conocimiento del momento de la crecida del Nilo.

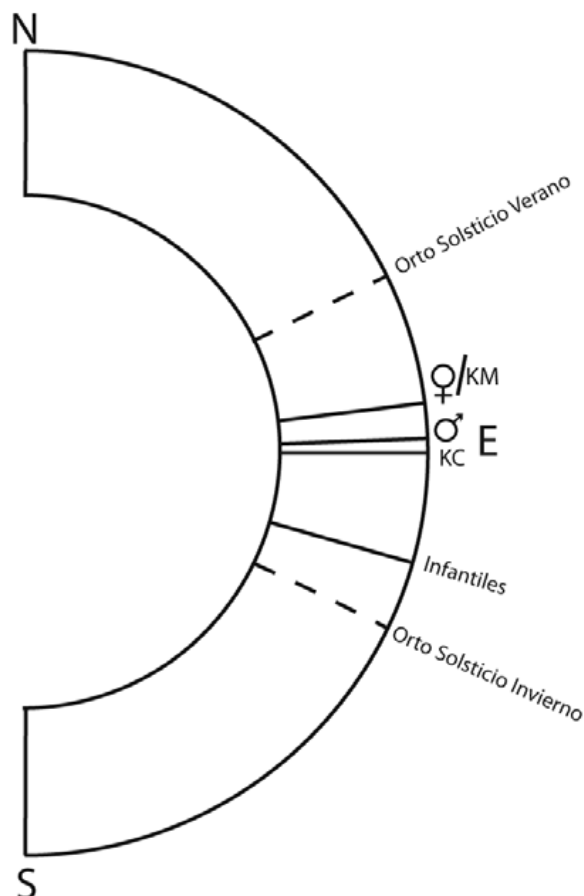
Como ocurre en la práctica totalidad de las culturas antiguas, la astronomía no era un objeto de estudio en sí misma, sino un instrumento para el mejor conocimiento del mundo que les rodeaba, que permitía tener una información privilegiada para usarla en beneficio propio. Asimismo el conocimiento, e incluso la previsión, de los eventos astronómicos se suele explicar mediante una mitología que mostrara la interacción de los cuerpos celestes. Se acercaba de esta forma a la comprensión humana interrelacionándolos con la parafernalia religiosa, haciéndolos aprehensibles en definitiva.

Asociados a construcciones monumentales (Belmonte 2005), han aparecido orientaciones perpendiculares y paralelas –menos frecuentes– al Nilo. Junto a ellas, como el caso del Tebas, se han podido observar alineaciones respecto del Solsticio de Invierno. En nuestro caso, la interpretación de las orientaciones que aparecen en este cementerio es igualmente una combinación solar y fluvial, pero con algunas diferencias.

Fijándonos en la dirección Este-Oeste bien podríamos asociarla, como ocurre en muchas culturas,

a la identificación del ciclo solar con el ciclo humano de la vida. En el primero la muerte solar ocurre durante el recorrido que realiza el Sol durante la noche, que comienza con la desaparición del mismo por el Oeste y el renacimiento por el Este. En el caso egipcio, el viaje que realiza el Sol durante la noche le lleva por el mundo de los muertos donde se ve sometido a numerosas pruebas para salir victorioso al día siguiente por el Este, comenzando un nuevo día. Reflejo de ello es la división egipcia de los días en 12 horas de luz y 12 de oscuridad. Por otro lado, en esta necrópolis se da la circunstancia de que el cauce del río es primero perpendicular y luego paralelo a esta dirección haciendo plausible cualquiera de las dos posibilidades, sin poder decantarnos por ninguna de las dos al no tener más información.

El Nilo también está presente en la otra dirección relevante del cementerio, la que presentan las tumbas infantiles. Se trata de una dirección perpendicular al flujo principal que actualmente lleva el río



**Figura 3.-** Relación de ángulos para tumbas según su sexo y época en la que fueron enterrados (KM: Kerma Medio; KC: Kerma Clásico). Se relaciona con el azimuth en el orto solar en los solsticios.

antes del cambio que ocasiona el meandro. Es habitual encontrarnos con diferencias en el enterramiento de adultos y niños, es decir, elementos de la sociedad que todavía no han realizado los ritos de paso que permiten el acceso a la edad adulta. En el caso que nos ocupa parece reflejarse en la posición de las tumbas con respecto al Nilo que nos hace pensar en una identificación del Nilo con la evolución social de las personas que fueron enterradas en este lugar. Esta orientación parece claramente referente al Nilo ya que no hay ninguna otra posible explicación solar a esta referencia.

Por último, nos fijaremos en la posición del Sol en el orto para las posiciones de los solsticios. Como podemos observar en la tabla 2 y en la figura 3, estas posiciones distan mucho de cualquiera de las direcciones resultantes en el estudio, y podemos, por tanto, descartar tales orientaciones. En lo referente a las posiciones equinocciales, la coincidencia de la posición solar con el punto cardinal Este y el recorrido del río Nilo –ya comentado– no nos permite discernir entre una explicación de carácter solar o una motivación que tenga como referente el río.

Es importante hacer notar que a pesar de que las direcciones que aparecen reflejadas en el estudio son significativas, deben tomarse con precaución. Poseemos una serie más corta de datos de lo que nos gustaría y sería deseable un estudio topoastronómico de la zona así como de un número mayor de necrópolis. De la misma forma, con los datos aportados no podemos discernir si las direcciones que se plas-

man en la necrópolis son fruto de un desarrollo cultural propio o por influencia de la cultura egipcia.

Como hemos visto a lo largo de todas las medidas, las diferencias que aparecen son de varios grados. Existen varios factores que aumentan la incertidumbre de las medidas en este caso, para empezar la subjetividad a la hora de medir el ángulo que forma el río, debido a sus constantes crecidas y cambios en el flujo de agua. Por otro lado, la capacidad humana de calcular distancias angulares también se ve mermada en ambientes tales como los desérticos, donde la refracción atmosférica de la luz cobra gran importancia. Todo ello complicaría la consecución de un enterramiento en una orientación determinada.

Llama la atención que a pesar de no ser un núcleo urbano grande, parece haber una intencionalidad en el enterramiento durante muchas generaciones, sin ser prerrogativa para la clase dirigente –como indica la diferente cantidad de ajuar diferenciador en las tumbas– lo cual nos refiere a una tradición que se pierde en el tiempo dentro de un bagaje cultural común con otros pueblos.

Nos encontramos, por lo tanto, con un enclave complicado donde la situación geográfica del río Nilo no nos permite, en ocasiones, hacer diferencias entre su dirección y la solar. Sin embargo, los resultados para el ámbito funerario de la necrópolis de Abri-Amir Abdallah parecen indicar que la cultura Kerma –al igual que la egipcia– poseía un doble culto: eminentemente solar el primero de ellos y el segundo teniendo como referente al río Nilo.

## AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer a Víctor M. Fernández el poner a nuestra disposición los datos obtenidos durante la excavación de la necrópolis en 1981, así como la corrección del texto del artículo.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BELMONTE, J.A. (2001): On the orientation of the Old Kingdom pyramids. *Archaeoastronomy*, 26: 1-20.
- BELMONTE, J.A. (2001b): The decans and the ancient Egyptian skylore: an astronomer's approach. *Memorie della Società Astronomica Italiana*, 73, vol. Spec 1: 43-57.
- BELMONTE, J.A. (2003): The Ramesside star clocks and the ancient Egyptian constellations: Legacies of Astronomy in Culture. *Proceedings of the 9th annual meeting of the European Society for Astronomy in Culture (SEAC)* (M. Blomberg, P.E. Blomberg y G. Henriksson, eds.), Uppsala Astronomical Observatory Report, 59.
- BONNET, C. (1978): Fouilles archéologiques à Kerma (Soudan). Rapport préliminaire de la campagne de 1977-1978. *Genava*, 26: 107-128.
- BONNET, C. (1983): Kerma. An African Kingdom of the 2nd and 3rd millennia B.C. *Archaeology*, 36, 6: 38-45.
- BONNET, C. (1986): *Kerma. Territoire et métropole*. Quatre leçons au Collège de France, IFAO, Bibliothèque Générale, IX, Paris.
- BONNET, C. (1987): Kerma, royaume africain de Haute Nubie. *Nubian Culture: Past and Present: main papers presented at the sixth international conference for Nubian studies in Uppsala (11-16 August)* (T. Hägg, ed.), Almqvist & Wiksell International, Estocolmo.
- BONNET, C. (1988): Le territoire du royaume de Kerma - Cent quarante ans après l'expédition de Karl Richard Lepsius. *Karl Richard Lepsius (1810-1884)*. Akten der Tagung anlässlich seines 100, Berlin: 328-338.
- BONNET, C. (1991): Upper Nubia from 3000 to 1000 BC. *Egypt and Africa. Nubia from Prehistory to Islam* (W.V. Davies, ed.), British Museum Press, Londres: 112-117.
- BONNET, C. (1994): Les fouilles archéologiques de Kerma au nord du Soudan, La Nubie. *Les Dossiers de l'Archéologie*, 196 : 16-21.
- BONNET, C. (1996): The Funerary Traditions of Middle Nubia. *VIIIth International Conference for meroitic Studies* (I. Welsby Sjöström, ed.), Pre-prints of the main papers and Abstracts, Londres: 2-18.
- BONNET, C.; VALBELLE, D.; PRIVATI, B. ET AL. (2000): *Edifices et rites funéraires à Kerma*. Errance, Paris.
- CLAGETT, M. (1995): *Ancient Egyptian science. Volume II: Calendars, clocks and astronomy*. Philadelphia
- FERNÁNDEZ, V.M. (1982): El cementerio Kerma de Abri-Amir 'Abdallah (Provincia del Norte). Excavaciones de la Misión arqueológica española en el Sudán. *Trabajos de Prehistoria*, 39: 279-322.
- FERNÁNDEZ, V.M. (1984): Early Meroitic in Northern Sudan: the assessment of a Nubian archaeological culture. *Aula Orientalis*, II(1): 43-84.
- FERNÁNDEZ, V.M. (1986): A new Kerma site in Abri (North. Prov., Sudan). *Nubische Studien*: 55-58. (Fifth International Conference of the Society for Nubian Studies, Heidelberg, Sept. 1982).
- GRATIEN, B. (1978): *Les cultures Kerma. Essai de classification*. Publications de l'Université de Lille III, Lille.
- HART, G. (1986): *A dictionary of Egyptian gods and goddesses*. Routledge & Kegan Paul.
- HONNEGGER, M. (2001): Évolution de la société dans le bassin de Kerma (Soudan), des derniers chasseurs-cueilleurs au premier royaume de Nubie. *Bulletin de la Société Française d'Égyptologie*, 152: 12-27.
- KRAUSS, R. (2002): Egyptian Calendars and Astronomy. *Cambridge History of Science*, Cambridge University Press, Cambridge.
- REISNER, G.A. (1923): *Excavations at Kerma (Vols. I and II: Parts I-III and IV-V)*. Harvard African Studies, Vols. V and VI, Peabody Museum of Harvard University, Cambridge, Massachusetts.
- TRANCHO, G. (1982): Resumen del análisis antropológico de la necrópolis Kerma de Abri-Amir Abdallah (Nubia, Sudan). *Trabajos de Prehistoria*, vol. 39: 323-328.
- WELLS, R.A. (1985): Sothis and the Satet temple on Elephantine: a direct connection. *Studien zur Altägyptischen Kultur (SAK)*, 12: 255-302.

#### **A6.4. "La metodología en los estudios arqueoastronómicos"**

# VIII CONGRESO IBÉRICO DE ARQUEOMETRÍA

# ACTAS

M.<sup>a</sup> Esperanza Saiz Carrasco  
Raúl López Romero  
M.<sup>a</sup> Ascensión Cano Díaz-Tendero  
Juan Carlos Calvo García  
(eds.)

Teruel, 19 - 21 de octubre de 2009

# VIII Congreso Ibérico de Arqueometría

## *ACTAS*

M.<sup>a</sup> Esperanza Saiz Carrasco  
Raúl López Romero  
M.<sup>a</sup> Ascensión Cano Díaz-Tendero  
Juan Carlos Calvo García  
(eds.)

Teruel, 19 - 21 de octubre de 2009

## Comité Organizador

|                             |                                                                              |
|-----------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| Juan Carlos Calvo García    | <i>Seminario de Arqueología y Etnología Turolense</i>                        |
| Ramiro Alloza Izquierdo     | <i>Lab. de Análisis e Investigación de Bienes Culturales. Gob. de Aragón</i> |
| Clodoaldo Roldán García     | <i>Universidad de Valencia</i>                                               |
| Jesús Picazo Millán         | <i>Universidad de Zaragoza</i>                                               |
| Pilar Lapuente Mercadal     | <i>Universidad de Zaragoza</i>                                               |
| Raúl López Romero           | <i>Seminario de Arqueología y Etnología Turolense</i>                        |
| M.ª Esperanza Saiz Carrasco | <i>Seminario de Arqueología y Etnología Turolense</i>                        |

## Comité Científico

|                              |                                                   |
|------------------------------|---------------------------------------------------|
| Josefina Pérez Arantegui     | <i>Universidad de Zaragoza</i>                    |
| Ignacio Montero Ruíz         | <i>Instituto de Historia C.S.I.C.</i>             |
| Marius Vendrell Saz          | <i>Universidad de Barcelona</i>                   |
| Ernestina Badal García       | <i>Universidad de Valencia</i>                    |
| Juan Gregorio Rejas Ayuga    | <i>Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial</i> |
| Joaquín Barrio Martín        | <i>Universidad Autónoma de Madrid</i>             |
| M.ª Asunción Millán Chagoyen | <i>Universidad Autónoma de Madrid</i>             |
| Blanca Gómez Tubío           | <i>Universidad de Sevilla</i>                     |
| Maria Isabel Prudencio       | <i>Instituto Tecnológico e Nuclear de Lisboa</i>  |
| M.ª José Feliú Ortega        | <i>Universidad de Cádiz</i>                       |
| Salvador Rovira Llorens      | <i>Museo Arqueológico Nacional</i>                |

Quedan rigurosamente prohibidas, sin la autorización escrita de los titulares del copyright, bajo las sanciones establecidas en las leyes, la reproducción total o parcial de esta obra por cualquier medio o procedimiento, comprendidos la reprografía y el tratamiento informático.

© 2010, de la obra: los editores

© 2010, de cada artículo: sus autores

### Editores

M.ª Esperanza Saiz Carrasco  
Raúl López Romero  
M.ª Ascensión Cano Díaz-Tendero  
Juan Carlos Calvo García

ISBN: 978-84-8854938-9

COMPOSICIÓN DE TEXTOS Y MAQUETACIÓN: AREBASIKO S.L

EDITA: Seminario de Arqueología y Etnología Turolense

IMPRESO EN ESPAÑA - UNIÓN EUROPEA

# PRESENTACIÓN

*En estas breves líneas se presentan las Actas del VIII Congreso Ibérico de Arqueometría, celebrado en Teruel del 19 al 21 de octubre de 2009, y que suponen el culmen del mismo.*

*Desde el Comité Organizador, compuesto por dos entidades comprometidas con el estudio y la defensa del Patrimonio Cultural como son la Sociedad Española de Arqueometría aplicada al Patrimonio Cultural (SAPAC) y el Seminario de Arqueología y Etnología Turolense (SAET), estamos convencidos de que la celebración del Congreso ha remarcado el auge de las investigaciones en arqueometría y ha evidenciado la necesidad de incrementar los puntos de contacto entre las diferentes ciencias implicadas en su desarrollo y encauzar su impulso para ser productivo. Por tanto, consideramos que los objetivos planteados con la celebración de este Congreso se han superado con buena nota.*

*El éxito de convocatoria del VIII Congreso Ibérico de Arqueometría ha sido notable. El Congreso ha reunido por segunda vez, tras el éxito del anterior organizado por el CSIC en Madrid, a más de una centena de investigadores relacionados con las diferentes temáticas que engloba la arqueometría, con un elevado número de aportaciones.*

*De forma concreta, creemos que ha supuesto un punto de inflexión en cuanto a la valoración de las investigaciones que se están desarrollando en este campo desde los proyectos I+D. De este modo, hay que destacar la alta presencia de estudiantes tanto de aquellos que están desarrollando sus estudios de licenciatura, como los que están en fase predoctoral, dentro de ese marco de investigación.*

*Igualmente, nos gustaría felicitar a la SAPAC por la puesta en marcha de la página web de la asociación (<https://www.sapac.es>), cuya presentación se realizó en el marco del propio Congreso. Esta página será de vital trascendencia para la continuidad del desarrollo de la Arqueometría como ciencia al facilitar el intercambio de información, experiencias y metodología de distintos grupos interdisciplinares, procedentes de entidades variadas.*

*Ante la emergencia y la importancia de las nuevas formas de información y de almacenaje, tanto para los especialistas como para los propios investigadores, se ha optado por seguir el mismo criterio que en el Congreso anterior y presentar la publicación de las actas como libro electrónico, accesible a todos los interesados a través de la página web oficial del Congreso (<http://www.segeda.net/8cia/8cia.htm>).*

*Por último, como Comité Organizador queremos aprovechar estas líneas para reflexionar sobre la importancia de que una ciudad como Teruel haya acogido un Congreso de estas características, por un doble motivo. La propia temática del Congreso favorecía su celebración en una ciudad donde la importancia del patrimonio es el motor futuro de su desarrollo. Además, los distintos procesos de análisis llevados a cabo en las torres mudéjares, símbolo de la ciudad, demostraron la relevancia de estos estudios durante su proceso de restauración. Por otro lado, el hecho de que una ciudad pequeña haya acogido a tantos participantes y todo se haya desarrollado con éxito, supone un gran aliciente para el desarrollo de futuras actividades de este tipo, en el marco del Seminario de Arqueología y Etnología Turolense, como entidad dedicada a la difusión y estudio del patrimonio.*

*No queremos terminar estas líneas sin agradecer a todos los inscritos su participación y asistencia, fundamental contribución al éxito del Congreso.*

**Comité Organizador**

Teruel, noviembre 2010



# ÍNDICE

pág.

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| <b>Presentación</b> ..... | III |
|---------------------------|-----|

## ÍNDICES

|                                      |     |
|--------------------------------------|-----|
| Índice general.....                  | IV  |
| Índice de autores .....              | VII |
| Índice geográfico y toponímico ..... | X   |

## COMUNICACIONES

|                                                               |   |
|---------------------------------------------------------------|---|
| <b>Sesión Biomateriales y estudios paleoambientales</b> ..... | 3 |
|---------------------------------------------------------------|---|

|                                                                                                                             |   |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
| BADAL, E. y CARRIÓN, Y., <i>El uso de los vegetales durante la Edad del Hierro en el Cabezo de la Cruz (Zaragoza)</i> ..... | 5 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|

|                                                       |    |
|-------------------------------------------------------|----|
| <b>Sesión Análisis de materiales. Cerámicas</b> ..... | 21 |
|-------------------------------------------------------|----|

|                                                                                                                                                            |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| POLVORINOS, A. et al., <i>Análisis por RBS de la evolución de la microestructura de los lustres de Manises (Valencia) entre los siglos XIV-XVIII</i> ..... | 23 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

|                                                                                                                                                                                                            |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| SAIZ, M. <sup>a</sup> E. et al., <i>Aproximación a la alfarería de época celtibérica en el Sistema Ibérico Central: caracterización de las producciones de los alfares de la provincia de Teruel</i> ..... | 37 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

|                                                                                                                                                                                                       |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| BUXEDA, J. y TUSET, F., <i>Las producciones altoimperiales de Terra Sigillata Hispánica Dorada (TSHD) y de Terra Sigillata Hispánica (TSH) de Clunia según su caracterización arqueométrica</i> ..... | 49 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

|                                                                                                                                                                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| IÑÁÑEZ, J. G. y BUXEDA, J., <i>Los talleres de fabricación de Mayólica de Obradors/Sant Anastasi y Remolins de la ciudad de Lleida (siglos XVI-XVII) a través de su caracterización arqueométrica</i> ..... | 57 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

|                                                                                                                                                                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| MADRID, M., <i>Proveniencia y tecnología de las producciones de Terra Sigillata Itálica documentadas en la ciudad romana de Baetulo (Badalona, Barcelona) a través de su caracterización arqueométrica</i> ..... | 65 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

|                                                                                                                                                                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| INÁCIO, N. et al., <i>Análisis estructural químico y mineralógico de productos cerámicos asociados a la producción metalúrgica del III milenio a.n.e: el caso de Valencina de la Concepción (Sevilla)</i> ..... | 75 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

|                                                                                                                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| LANTES, O.; PRIETO, M. P. y MARTÍNEZ, A., <i>Caracterización de la pasta blanca incrustada en decoraciones de campaniformes gallegos. Indagando sobre su procedencia</i> ..... | 87 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

|                                                                             |     |
|-----------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Sesión Análisis de materiales. Pigmentos y técnicas pictóricas</b> ..... | 101 |
|-----------------------------------------------------------------------------|-----|

|                                                                                                                                                                   |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ROLDÁN, C. et al., <i>Análisis de la pintura mural de una domus excavada en el municipio romano de Llesera (la Moleta dels Frares, Forcall - Castellón)</i> ..... | 103 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

|                                                                                                                                                                            |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| AGUIAR, M. et al., <i>Painting on cardboard in the beginning of the XX century, in Portugal: Aurélia de Souza, a forgotten artist on a time of technical changes</i> ..... | 113 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| HUNT, M. y HURTADO, V., <i>La utilización de mineral de mercurio como pigmento en ámbitos funerarios de época Calcolítica en el Sur de la Península Ibérica: determinación de los depósitos minerales utilizados, redes de distribución y uso a través de su caracterización composicional e isotópica</i> ..... | 123 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

|                                                                    |     |
|--------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Sesión Análisis de materiales. Lítico, vidrio y hueso</b> ..... | 133 |
|--------------------------------------------------------------------|-----|

|                                                                                                                                                                                                                    |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ODRIOZOLA, C. P.; LINARES, J. A. y HURTADO, V., <i>Caracterización de la variscita de Pico Centeno (Encinasola, Huelva) y de las cuentas de collar procedentes de yacimientos prehistóricos del Suroeste</i> ..... | 135 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

**Sesión Análisis de materiales. Lítico, vidrio y hueso**

|                                                                                                                                                                                                |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ROYO, H.; LAPUENTE, P. y NOGALES, T., <i>Primeros resultados arqueométricos en el estudio de los programas estatuarios del foro de Regina (Provincia Baetica)</i> .....                        | 147 |
| MURCIA, S.; ROLDÁN, C. y RODENAS, I., <i>Análisis no destructivo de conjuntos litúrgicos de vidrio de la colección de Gandía (Valencia)</i> .....                                              | 157 |
| HUNT, M. et al., <i>Exámen arqueométrico de un objeto de hueso decorado de época almohade (s. XIII d. C. procedente de la excavación arqueológica de la calle San Fernando, Sevilla)</i> ..... | 165 |

**Sesión Análisis de materiales. Metales** ..... 175

|                                                                                                                                                                            |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| PEREA, A. y GARCÍA, J. R., <i>Análisis MEB de la orfebrería fenicia de Les Casetes (Villajoyosa, Alicante)</i> ....                                                        | 177 |
| SALVÀ, B. et al., <i>Aproximación a la metalurgia prehistórica de las Baleares: estudio analítico de minerales cupríferos</i> .....                                        | 193 |
| RODRÍGUEZ, M. et al., <i>El barrio metalúrgico de Valencina de la Concepción (Sevilla): procesos de producción vinculados a la manufactura de productos de cobre</i> ..... | 207 |

**Sesión Prospección geofísica y teledetección** ..... 219

|                                                                                                                                                                                                           |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| GARCÍA, E.; SALA, R. y SAN JOSÉ, S., <i>Descripción geofísica de un derrumbe. Prospección georadar y corrección topográfica en el poblado fortificado de Munoandi (Azkoitia-Azpeitia, Gipuzkoa)</i> ..... | 221 |
| ZANCAJO, J. y MOSTAZA, T., <i>Técnicas de documentación métrica y gestión espacial del Patrimonio</i> .....                                                                                               | 231 |
| LÓPEZ, R. et al., <i>Experiencias teledetección pasiva y activa en el estudio arqueológico de la ciudad celtibérica de Segeda (Mara, Zaragoza)</i> .....                                                  | 239 |

**Sesión Datación**..... 249

|                                                                                                                                                         |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| MONGE, A. M.; MEDEROS, A. y MATOS, J. M., <i>Correcção das Datas de Radiocarbono de Conchas Marinhas provenientes do Arquipélago das Canárias</i> ..... | 251 |
| SANJURJO, J. et al., <i>Consideraciones metodológicas en la datación por Luminiscencia de materiales de construcción: el caso de los morteros</i> ..... | 261 |

**Sesión Arqueoastronomía** ..... 269

|                                                                                                       |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| MEJUTO, J. y RODRÍGUEZ, C., <i>La metodología en los estudios arqueoastronómicos</i> .....            | 271 |
| CERDEÑO, M. <sup>a</sup> L. y RODRÍGUEZ, G., <i>La arqueoastronomía ¿una arqueometría más?</i> .....  | 279 |
| PÉREZ, M.; BURILLO, F. y LÓPEZ, R., <i>Estudio Arqueoastronómico de la plataforma de Segeda</i> ..... | 287 |



**PÓSTERS****Sesión Biomateriales y estudios paleoambientales ..... 295**

AFONSO, J. A., *Fitolitos y otros microfósiles en la Prehistoria de Canarias: una propuesta metodológica desde la Microarqueología* ..... 297

EUBA, I. y ALLUÉ, E., *Alteraciones biológicas de la madera: El estudio de los materiales constructivos del yacimiento de Estall Serrer (Valle del Madriu, Andorra)* ..... 305

**Sesión Análisis de materiales. Cerámicas ..... 315**

ALBERO, D. y GARCÍA, E., *Estrategias de gestión de los recursos arcillosos en la Prehistoria de Mallorca (1000-123 a. C.): usos cerámicos y no cerámicos* ..... 317

**Sesión Análisis de materiales. Pigmentos y técnicas pictóricas ..... 327**

PITARCH, A. et al., *Caracterización de estucos y pigmentos del establecimiento romano republicano de Can Tacó-Turó d'en Roïna (Montmeló-Montornès del Vallès, Barcelona)* ..... 329

PITARCH, A. et al., *Pinturas murales de la ciudad romana de Iesso: resultados preliminares de la caracterización de los pigmentos mediante técnicas no destructivas* ..... 337

KRIZNAR, A. et al., *Caracterización de la colección del Museo de Bellas Artes de Sevilla mediante técnicas no destructivas de análisis* ..... 347

CARBALLO, J., *Análisis por EDXRF de cinco paneles del pintor manierista portugués Francisco Correia* ..... 357

**Sesión Análisis de materiales. Lítico..... 367**

CASTAÑEDA, V. et al., *Geología, materias primas, áreas de captación y tecnología de las sociedades de finales del Achelense en el Campo de Gibraltar* ..... 369

POLVORINOS, A. et al., *Variabilidad espectral VIS-SWIR de objetos líticos de carácter cultural en el yacimiento calcolítico de La Pijotilla* ..... 379

**Sesión Análisis de materiales. Metales ..... 387**

POLVORINOS, A. et al., *Caracterización arqueométrica e hipótesis funcional de “crisoles planos” escori- ficados procedentes del yacimiento calcolítico de S. Blas (Cheles, Badajoz)* ..... 389

**Sesión Prospección geofísica y teledetección ..... 401**

MOSTAZA, T. et al., *Aplicación del Escaner Láser 3D a la documentación Espacial de yacimientos ar- queológicos* ..... 403

ROGERIO-CANDELER, M. A. y ELEZ, J., *Elaboración de un nuevo calco del cáprido de la Sala de La Hoya (cueva de Altamira) mediante técnicas de análisis de imagen* ..... 409

ROGERIO-CANDELER, M. A. et al., *Análisis de imagen de pinturas rupestres del yacimiento de Faia (Par- que Arqueológico de Vila Nova de Foz Côa, Guarda, Portugal)* ..... 419

**Sesión Conservación del patrimonio ..... 429**

ALVAREZ, A.; PITARCH, A. y ARROYO, P., *Estado de conservación y propuesta de restauración de la igle- sia de Sant Vicenç (Tossa de Mar, Gerona)* ..... 431

# Índice de autores

pág.

## A

|                          |                      |     |
|--------------------------|----------------------|-----|
| ABRIL LÓPEZ, Daniel      | Sesión Cerámicas     | 75  |
|                          | Sesión Metales       | 207 |
| AFONSO VARGAS, José A.   | Póster Biomateriales | 297 |
| AGUIAR, Maria            | Sesión Cerámicas     | 113 |
| ALBERO SANTACREU, Daniel | Póster Cerámica      | 317 |
| ALLUÉ MARTÍ, Ethel       | Póster Biomateriales | 305 |
| ALMARZA LÓPEZ, Javier    | Póster Lítico        | 379 |
|                          | Póster Metales       | 389 |
| ÁLVAREZ PÉREZ, Aureli    | Póster Pigmentos     | 329 |
|                          | Póster Pigmentos     | 337 |
|                          | Póster Patrimonio    | 431 |
| ARASA GIL, Ferran        | Sesión Cerámicas     | 103 |
| ARROYO CASALS, P.        | Póster Patrimonio    | 431 |
| AUCOUTURIER, Marc        | Sesión Cerámicas     | 23  |

## B

|                           |                                              |     |
|---------------------------|----------------------------------------------|-----|
| BADAL GARCÍA, Ernestina   | Sesión Biomateriales                         | 5   |
| BERNÁLDEZ SÁNCHEZ, Eloisa | Sesión Lítico, vidrio y hueso                | 165 |
| BOUQUILLON, Anne          | Sesión Cerámicas                             | 23  |
| BURBIDGE, Christopher I.  | Sesión Datación                              | 261 |
| BURILLO MOZOTA, Francisco | Sesión Cerámicas                             | 37  |
|                           | Sesión Prospección Geofísica y Teledetección | 239 |
|                           | Sesión Arqueoastronomía                      | 287 |
| BUXEDA i GARRIGÓS, Jaume  | Sesión Cerámicas                             | 49  |
|                           | Sesión Cerámicas                             | 57  |

## C

|                              |                                              |     |
|------------------------------|----------------------------------------------|-----|
| CANO DÍAZ, M.ª Ascensión     | Sesión Prospección Geofísica y Teledetección | 239 |
| CALVO MANUEL, Ana Maria      | Sesión Cerámicas                             | 113 |
| CARBALLO MARTINEZ, Jorgelina | Sesión Cerámicas                             | 113 |
|                              | Póster Pigmentos                             | 357 |
| CARRIÓN MARCO, Yolanda       | Sesión Biomateriales                         | 5   |
| CASTAING, Jacques            | Sesión Cerámicas                             | 23  |
| CASTAÑEDA FERNÁNDEZ, Vicente | Póster Lítico                                | 359 |
| CERDEÑO SERRANO, M.ª Luisa   | Sesión Arqueoastronomía                      | 279 |
| COSTELA MUÑOZ, Yolanda       | Póster Lítico                                | 369 |
| CRUZ, António João           | Sesión Cerámicas                             | 113 |

## D

|                    |                 |     |
|--------------------|-----------------|-----|
| DÍAS, Maria Isabel | Sesión Datación | 261 |
|--------------------|-----------------|-----|

## E

|                         |                                              |     |
|-------------------------|----------------------------------------------|-----|
| ÉLEZ VILLAR, Javier     | Póster Prospección Geofísica y Teledetección | 409 |
| EUBA REMENTERIA, Itxaso | Póster Biomateriales                         | 305 |

## F

|                            |                                              |     |
|----------------------------|----------------------------------------------|-----|
| FANLO LORAS, Javier        | Sesión Cerámicas                             | 37  |
| FARJAS ABADÍA, Mercedes    | Sesión Prospección Geofísica y Teledetección | 239 |
| FERNÁNDEZ MOSQUERA, Daniel | Sesión Datación                              | 261 |
| FORTEZA GONZÁLEZ, Matilde  | Póster Lítico                                | 379 |
|                            | Póster Metales                               | 389 |

## G

|                           |                                              |     |
|---------------------------|----------------------------------------------|-----|
| GARCÍA AMENGUAL, Emilio   | Póster Cerámica                              | 317 |
| GARCIA GARCIA, Ekhine     | Sesión Prospección Geofísica y Teledetección | 221 |
| GARCÍA GANDÍA, José Ramón | Sesión Metales                               | 177 |
| GARCÍA IÑÁÑEZ, Javier     | Sesión Cerámicas                             | 57  |
| GÓMEZ, Rocío              | Póster Lítico                                | 379 |
| GÓMEZ TUBÍO, Blanca       | Sesión Lítico, vidrio y hueso                | 165 |
| GUIMARÃES, Pedro          | Póster Prospección Geofísica y Teledetección | 419 |
| GUITART DURÁN, Josep      | Póster Pigmentos                             | 329 |
|                           | Póster Pigmentos                             | 337 |

**H**

|                                         |                               |     |
|-----------------------------------------|-------------------------------|-----|
| HERNÁNDEZ ARNEDE, M. <sup>a</sup> Jesús | Póster Lítico                 | 379 |
|                                         | Póster Metales                | 389 |
| HURTADO PÉREZ, Víctor M.                | Sesión Cerámicas              | 123 |
|                                         | Sesión Lítico, vidrio y hueso | 135 |
|                                         | Póster Lítico                 | 379 |
|                                         | Póster Metales                | 389 |
| HUNT ORTIZ, Mark A.                     | Sesión Cerámicas              | 123 |
|                                         | Sesión Lítico, vidrio y hueso | 165 |
|                                         | Póster Metales                | 389 |

**I**

|                               |                  |     |
|-------------------------------|------------------|-----|
| IGEA ROMERA, Jesús            | Sesión Cerámicas | 37  |
| INÁCIO, Nuno Miguel de Franco | Sesión Cerámicas | 75  |
|                               | Sesión Metales   | 207 |

**J**

|               |                  |     |
|---------------|------------------|-----|
| JUANES, David | Sesión Cerámicas | 103 |
|---------------|------------------|-----|

**K**

|                   |                  |     |
|-------------------|------------------|-----|
| KRIŽNAR, Anabelle | Póster Pigmentos | 347 |
|-------------------|------------------|-----|

**L**

|                              |                                              |     |
|------------------------------|----------------------------------------------|-----|
| LANTES-SUÁREZ, Oscar         | Sesión Cerámicas                             | 87  |
| LAPUENTE MERCADAL, Pilar     | Sesión Cerámicas                             | 37  |
|                              | Sesión Lítico, vidrio y hueso                | 147 |
| LINARES CATELA, Jose Antonio | Sesión Lítico, vidrio y hueso                | 135 |
| LÓPEZ QUIROGA, Jorge         | Póster Prospección Geofísica y Teledetección | 403 |
| LÓPEZ ROMERO, Raúl           | Sesión Prospección Geofísica y Teledetección | 239 |
|                              | Sesión Arqueoastronomía                      | 287 |
| LÓPEZ TORRES, Pina           | Sesión Lítico, vidrio y hueso                | 165 |
| LLULL ESTARELLAS, Bartomeu   | Sesión Metales                               | 193 |

**M**

|                              |                                              |     |
|------------------------------|----------------------------------------------|-----|
| MADRID i FERNÁNDEZ, Marisol  | Sesión Cerámicas                             | 65  |
| MARTÍNEZ CORTIZAS, Antonio   | Sesión Cerámicas                             | 87  |
| MARTÍNEZ TEJERA, Artemio     | Póster Prospección Geofísica y Teledetección | 403 |
| MARTINHO BAPTISTA, António   | Póster Prospección Geofísica y Teledetección | 419 |
| MATOS MARTINS, José M.       | Sesión Datación                              | 251 |
| MEDEROS MARTÍN, Alfredo      | Sesión Datación                              | 251 |
| MEJUTO GONZÁLEZ, Javier      | Sesión Arqueoastronomía                      | 271 |
| MONGE SOARES, António M.     | Sesión Datación                              | 251 |
| MOSTAZA PÉREZ, Teresa        | Sesión Prospección Geofísica y Teledetección | 231 |
|                              | Sesión Prospección Geofísica y Teledetección | 239 |
|                              | Póster Prospección Geofísica y Teledetección | 403 |
| MURCIA-MASCARÓS, Sonia       | Sesión Lítico, vidrio y hueso                | 157 |
| MUÑOZ RUBIO, María del Valme | Póster Pigmentos                             | 347 |

**N**

|                             |                               |     |
|-----------------------------|-------------------------------|-----|
| NIETO LIÑÁN, José Miguel    | Sesión Cerámicas              | 75  |
|                             | Sesión Metales                | 207 |
| NOCETE CALVO, Francisco     | Sesión Cerámicas              | 75  |
|                             | Sesión Metales                | 207 |
| NOGALES BASARRATE, Trinidad | Sesión Lítico, vidrio y hueso | 147 |

**O**

|                                            |                               |     |
|--------------------------------------------|-------------------------------|-----|
| ODRIOZOLA LLORET, Carlos P.                | Sesión Lítico, vidrio y hueso | 135 |
| ONTALBA SALAMANCA, M. <sup>a</sup> Ángeles | Sesión Lítico, vidrio y hueso | 165 |
| ORTEGA FELIÚ, Inés                         | Sesión Lítico, vidrio y hueso | 165 |
| ORTÍZ, J. C.                               | Póster Patrimonio             | 431 |

|                                        |                         |     |
|----------------------------------------|-------------------------|-----|
| <b>P</b>                               |                         |     |
| PALET MARTÍNEZ, Josep Maria            | Póster Biomateriales    | 305 |
| De la Paz CALATRAVA, Fuensanta         | Póster Pigmentos        | 347 |
| PEREA CAVEDA, Alicia                   | Sesión Metales          | 177 |
| PÉREZ ARANTEGUI, Josefina              | Sesión Cerámicas        | 37  |
| PEREZ CAMPS, Josep                     | Sesión Cerámicas        | 23  |
| PÉREZ RAMOS, Luis                      | Póster Lítico           | 369 |
| PÉREZ GUTIERREZ, Manuel                | Sesión Arqueoastronomía | 287 |
| PERELLÓ MATEO, Laura                   | Sesión Metales          | 193 |
| PICAZO MILLÁN, Jesús                   | Sesión Biomateriales    | 5   |
| PITARCH MARTI, África                  | Póster Pigmentos        | 329 |
|                                        | Póster Pigmentos        | 337 |
|                                        | Póster Patrimonio       | 431 |
| POLVORINOS DEL RÍO, Angel              | Sesión Cerámicas        | 23  |
|                                        | Póster Lítico           | 379 |
|                                        | Póster Metales          | 389 |
| PRIETO-MARTÍNEZ, M. <sup>a</sup> Pilar | Sesión Cerámicas        | 87  |
| PRUDÊNCIO, Maria Isabel                | Sesión Datación         | 261 |

|                         |                  |     |
|-------------------------|------------------|-----|
| <b>Q</b>                |                  |     |
| QUERALT MITJANS, Ignasi | Póster Pigmentos | 329 |
|                         | Póster Pigmentos | 337 |

|                                       |                                              |     |
|---------------------------------------|----------------------------------------------|-----|
| <b>R</b>                              |                                              |     |
| REJAS AYUGA, Juan Gregorio            | Sesión Prospección Geofísica y Teledetección | 239 |
| RESPALDIZA GALISTEO, Miguel Ángel     | Póster Pigmentos                             | 347 |
| RODANÉS VICENTE, José M. <sup>a</sup> | Sesión Biomateriales                         | 5   |
| RODENAS MARTÍN, Isabel                | Sesión Lítico, vidrio y hueso                | 157 |
| RODRÍGUEZ, César                      | Sesión Arqueoastronomía                      | 271 |
| RODRÍGUEZ BAYONA, Moisés              | Sesión Cerámicas                             | 75  |
|                                       | Sesión Metales                               | 207 |
| RODRÍGUEZ CADEROT, Gracia             | Sesión Arqueoastronomía                      | 279 |
| ROGERIO-CANDELERIA, Miguel Ángel      | Póster Prospección Geofísica y Teledetección | 409 |
|                                       | Póster Prospección Geofísica y Teledetección | 419 |
| ROLDÁN GARCÍA, Clodoaldo              | Sesión Cerámicas                             | 103 |
|                                       | Sesión Lítico, vidrio y hueso                | 157 |
| ROVIRA LLORENS, Salvador              | Sesión Metales                               | 193 |
| ROYO PLUMED, Hernando                 | Sesión Lítico, vidrio y hueso                | 147 |

|                                          |                                              |     |
|------------------------------------------|----------------------------------------------|-----|
| <b>S</b>                                 |                                              |     |
| SÁEZ RAMOS, Reinaldo                     | Sesión Cerámicas                             | 75  |
|                                          | Sesión Metales                               | 207 |
| SAIZ CARRASCO, M. <sup>a</sup> Esperanza | Sesión Cerámicas                             | 37  |
|                                          | Sesión Prospección Geofísica y Teledetección | 239 |
| SALA BARTROLI, Roger                     | Sesión Prospección Geofísica y Teledetección | 221 |
| SALVÀ SIMONET, Bartomeu                  | Sesión Metales                               | 193 |
| SAN JOSE SANTAMARTA, Sonia               | Sesión Prospección Geofísica y Teledetección | 221 |
| SANJURJO SÁNCHEZ, Jorge                  | Sesión Datación                              | 261 |
| SOARES DE FIGUEIREDO, Sofia              | Póster Prospección Geofísica y Teledetección | 419 |

|                          |                  |     |
|--------------------------|------------------|-----|
| <b>T</b>                 |                  |     |
| TORRES ABRIL, Francisco  | Póster Lítico    | 369 |
| TUSET BERTRAN, Francisco | Sesión Cerámicas | 49  |

|                         |                               |     |
|-------------------------|-------------------------------|-----|
| <b>V</b>                |                               |     |
| VIDAL LORENZO, Cristina | Sesión Lítico, vidrio y hueso | 157 |
| VEGA TORO, Mercedes     | Póster Pigmentos              | 347 |

|                            |                                              |     |
|----------------------------|----------------------------------------------|-----|
| <b>Z</b>                   |                                              |     |
| ZANCAJO JIMENO, José Julio | Sesión Prospección Geofísica y Teledetección | 231 |
|                            | Sesión Prospección Geofísica y Teledetección | 239 |
|                            | Póster Prospección Geofísica y Teledetección | 403 |

# Índice geográfico y toponímico

pág.

## A

*Allueva II* (Allueva, Teruel) \_\_\_\_\_ Sesión Cerámicas \_\_\_\_\_ 37

## B

*Baetulo* (Badalona, Barcelona) \_\_\_\_\_ Sesión Cerámicas \_\_\_\_\_ 65

## C

*Cabezo de la Cruz* (Zaragoza) \_\_\_\_\_ Sesión Biomateriales \_\_\_\_\_ 5

*Can Tacó-Turó d'en Roïna* (Barcelona) \_\_\_\_\_ Póster Pigmentos \_\_\_\_\_ 329

*Campo de Gibraltar* \_\_\_\_\_ Póster Lítico \_\_\_\_\_ 369

*Cerrá La Viña I* (Allueva, Teruel) \_\_\_\_\_ Sesión Cerámicas \_\_\_\_\_ 37

*Colegiata de Sta. María* (Gandía, Valencia) \_\_\_\_\_ Sesión Lítico, vidrio y hueso \_\_\_\_\_ 157

*Clunia* (Peñalba de Castro, Burgos) \_\_\_\_\_ Sesión Cerámicas \_\_\_\_\_ 49

*Cueva de Altamira* (Santillana del Mar, Santander) \_\_\_\_\_ Póster Prosp. Geosfísica y Teledetección \_\_\_\_\_ 409

## E

*El Ceremeño* (Herrería, Guadalajara) \_\_\_\_\_ Sesión Arqueoastronomía \_\_\_\_\_ 271

## F

*Faia* (Guarda, Portugal) \_\_\_\_\_ Póster Prosp. Geosfísica y Teledetección \_\_\_\_\_ 419

## I

*Iesso* (Guissona, Lérida) \_\_\_\_\_ Póster Pigmentos \_\_\_\_\_ 337

*Islas Canarias* \_\_\_\_\_ Sesión Datación \_\_\_\_\_ 251

\_\_\_\_\_ Póster Biomateriales \_\_\_\_\_ 297

## L

*Las Tejadas* (Orihuela del Tremedal, Teruel) \_\_\_\_\_ Sesión Cerámicas \_\_\_\_\_ 37

*Las Veguillas* (Camañas, Teruel) \_\_\_\_\_ Sesión Cerámicas \_\_\_\_\_ 37

*La Pijotilla* (Badajoz) \_\_\_\_\_ Póster Lítico \_\_\_\_\_ 379

*Les Casetes* (Villajoyosa, Alicante) \_\_\_\_\_ Sesión Metales \_\_\_\_\_ 177

*Los Vicarios* (Valdecebro, Teruel) \_\_\_\_\_ Sesión Cerámicas \_\_\_\_\_ 37

*Lavadero-Escobares* (Valdecebro, Teruel) \_\_\_\_\_ Sesión Cerámicas \_\_\_\_\_ 37

*Lesera* (La Moleta dels Frares, Forcall - Castellón) \_\_\_\_\_ Sesión Cerámicas \_\_\_\_\_ 103

*Lleida* (Lleida) \_\_\_\_\_ Sesión Cerámicas \_\_\_\_\_ 57

## M

*Manises* (Valencia) \_\_\_\_\_ Sesión Cerámicas \_\_\_\_\_ 23

*Mallorca* (Islas Baleares) \_\_\_\_\_ Póster Cerámicas \_\_\_\_\_ 317

*Menorca* (Islas Baleares) \_\_\_\_\_ Sesión Metales \_\_\_\_\_ 193

*Munoandi* (Azkoitia-Azpeitia, Gipuzkoa) \_\_\_\_\_ Sesión Prosp. Geosfísica y Teledetección \_\_\_\_\_ 221

## P

*Pico Centeno* (Encinasola, Huelva) \_\_\_\_\_ Sesión Lítico, vidrio y hueso \_\_\_\_\_ 135

*Pleta de l'Estall Serrer* (Valle del Madriu, Andorra) \_\_\_\_\_ Póster Biomateriales \_\_\_\_\_ 305

## R

*Regina Turdulorum* (Casas de la Reina, Badajoz) \_\_\_\_\_ Sesión Lítico, vidrio y hueso \_\_\_\_\_ 147

## S

*San Blas* (Cheles, Badajoz) \_\_\_\_\_ Póster Metales \_\_\_\_\_ 389

*Sant Vicenç* (Vila Vella de Tossa de Mar, Gerona) \_\_\_\_\_ Póster Patrimonio \_\_\_\_\_ 431

*Segeda* (Mara, Zaragoza) \_\_\_\_\_ Sesión Prosp. Geosfísica y Teledetección \_\_\_\_\_ 239

\_\_\_\_\_ Sesión Arqueoastronomía \_\_\_\_\_ 287

## T

*Tejares de Gemuño* (Ávila) \_\_\_\_\_ Sesión Prosp. Geosfísica y Teledetección \_\_\_\_\_ 231

## V

*Valenciana de la Concepción* (Sevilla) \_\_\_\_\_ Sesión Cerámicas \_\_\_\_\_ 75

\_\_\_\_\_ Sesión Metales \_\_\_\_\_ 207



# SESIÓN ARQUEOASTRONOMÍA



# LA METODOLOGÍA EN LOS ESTUDIOS ARQUEOASTRONÓMICOS

## METHODOLOGY IN ARCHAEOASTRONOMICAL STUDIES

Javier Mejuto González (1) / César Rodríguez (2)

(1) Dpto. de Física de la Tierra, Astronomía y Astrofísica I, Facultad Ciencias Físicas, Universidad Complutense de Madrid

(2) Sección departamental de Astronomía y Geodesia, Facultad Ciencias Matemáticas, Universidad Complutense de Madrid

**RESUMEN:** *A pesar del auge que han experimentado los estudios arqueoastronómicos en los últimos años, la disciplina adolece de una metodología propia. No es difícil observar una gran diversidad metodológica, probablemente debida a la heterogeneidad de los profesionales que se dedican a esta nueva rama científica. Creemos que es importante realizar un esfuerzo conjunto a fin de consensuar una metodología propia que ayude a afrontar con éxito los problemas de la disciplina.*

*El objetivo del presente trabajo, por lo tanto, es un intento de unificar la metodología de trabajo en este tipo de estudios. Para ello, presentamos una breve síntesis de las metodologías seguidas actualmente. Se muestra, a continuación, la metodología seguida por nuestro grupo de investigación. La misma se basa, a su vez, en las usadas en disciplinas que se encuentran en fuerte relación con la Arqueoastronomía, como son la Geodesia y la Topografía. No nos dejaremos llevar por la conveniencia de estas metodologías, ya consolidadas, sino que solamente las usaremos como primer escalón hacia una metodología propia.*

*Para terminar, se acompaña la explicación metodológica de un ejemplo práctico en los que se ha aplicado con éxito, correspondientes a yacimientos de la Edad del Hierro.*

**SUMMARY:** *Although the rise of archaeological studies had experimented in last years, the discipline suffers from the lack of an own methodology. It is not difficult to see a quite big methodological diversity, probably because the heterogeneity of the professionals those work in this brand new scientific branch. We believe that is important to make a joint effort in order to set an own methodology that helps to face successfully the discipline's problems.*

*The aim of this work is try to unify the work methodologies existing in these types of studies. To do this, we present a short summary of methodologies been carried till now. Following, we present the methodology that our research group follows. It is based in scientific disciplines related to Archaeoastronomy, like Geodesy and Topography. Anyway, we cannot take for the convenience of these methodologies, already tested, but we use them as the first step towards an own methodology.*

*To end, the methodological explanation is enclosed with a practical example where methodology has been applied successfully, corresponding to Iron Age archaeological sites.*

**PALABRAS CLAVE:** Arqueoastronomía, metodología, Edad del Hierro.

**KEY WORDS:** Archaeoastronomy, methodology, Iron Age.

## I. INTRODUCCIÓN

Desde sus inicios, la Arqueoastronomía viene siendo llevada a cabo por especialistas en diferentes disciplinas. Esto, añadido al hecho de que es una ciencia realmente joven, ha provocado un desorden metodológico y conceptual que ha ido bebiendo de las fuentes de otras disciplinas científicas fuertemente consolidadas. Reflejo de ello, es la variedad de definiciones de Arqueoastronomía que podemos encontrar en la bibliografía (Belmonte 2000: 14, Esteban 2003: 309, Cerdeño et al. 2006: 14). Pero para entender la situación actual de esta rama científica es necesario —como en tantas ocasiones— hacer un breve repaso a sus inicios.

## II. HISTORIA DE LA DISCIPLINA

Un trabajo historiográfico minucioso debería contener a la Arqueoastronomía americana pero en estas líneas nos centraremos únicamente en el continente europeo y, en particular, las Islas Británicas y la Península Ibérica. Con este espíritu podemos decir que los primeros pasos se dieron motivados por el interés que suscitaba la orientación intencionada de monumentos megalíticos, estos primeros trabajos fueron realizados en el siglo XVIII por el arquitecto John Wood (Wood 1747) y el anticuario William Stukeley (Stukeley 1740) fijándose en los yacimientos de Stonehenge,



Callanish, Castle Rigg y Sarsen Circle. Así comienzan dos tendencias que se prolongarán ampliamente en el tiempo. La primera de estas tendencias es la preponderancia del interés por los yacimientos megalíticos frente a lugares arqueológicos de otras épocas, hecho que se da hasta nuestros días (Figura 1). El segundo punto importante es el dominio británico en estos estudios que se ha mantenido hasta fechas recientes.

Tras los estudios de Wood y Stukeley hubo que esperar hasta el siguiente siglo para que se diera el siguiente hito en la disciplina. Este hecho fue la recopilación —realizada por el anticuario A.L. Lewis— de los yacimientos con posible interpretación astronómica, utilizada y ampliada posteriormente por el capitán de la marina británica H.B. Somerville y Joseph Norman Lockyer (Lockyer 1909).

El ingeniero Alexander Thom fue el personaje que se considera padre de la Arqueoastronomía moderna. Son vitales en la bibliografía sus publicaciones en el año 1954 “The solar observatories of Megalithic Man” y 1967 “Megalithic sites in Britain” (Thom 1954; 1967). Sus aportaciones principales son relativas a la aplicación de las técnicas topográficas y las ciencias matemáticas a las mediciones que realizó en los diferentes yacimientos. También en su trabajo cabe señalar que aunque trabajó en los yacimientos tradicionalmente estudiados —como el resto de autores— no basó su investigación en dichos lugares, aunque por otro lado siguió con la moda megalítica como único referente.

Con Thom se llega a la década de los 80 del siglo XX, momento en que aparecen los primeros trabajos en España, con más de cien años de retraso respecto a otros países. La “implantación” de la Arqueoastronomía en España viene de la mano de investigadores ingleses como Michael Hoskin que buscaban yacimientos interpretables astronómicamente fuera de las fronteras inglesas. Hoskin se interesó, como no podía ser de otra manera, por los monumentos megalíticos de Menorca, los Talayots. Reflejo de ello son las publicaciones que Hoskin fue realizando desde el año 1994 al 2002 bajo el nombre genérico de “Studies in Iberian Ar-

chaeoastronomy” (Hoskin *et al.* 1994, 1995, 1995b; 1998, 2001; Hoskin y Palomo 1998; Hoskin y Sauch 1999; Gómez y Hoskin 2000; Hoskin 2002), siendo varias de ellas en colaboración con investigadores españoles.

A pesar de su importancia, todas estas investigaciones arqueoastronómicas se hicieron sin tener en consideración interpretaciones arqueológicas y, por lo tanto, a espaldas de la comunidad de arqueólogos. Como consecuencia, los datos obtenidos nunca fueron interpretados e incluidos en investigaciones para un mayor conocimiento de nuestro pasado. Además de ello, el hecho de que se hicieran de forma separada de la Arqueología ha motivado que ambos mundos se encuentren cada vez menos en contacto y haya creado en los arqueólogos cierto sentimiento de recelo hacia los datos e interpretaciones que de los estudios arqueoastronómicos resultan. Afortunadamente, parece que esta tendencia remite y van apareciendo proyectos en los que los estudios con carácter arqueoastronómico son parte de proyectos interdisciplinarios.

La tendencia de separar ciencias sociales y naturales tuvo su excepción en Carlos Jaschek Y fundador de la Sociedad Europea de Astronomía Cultural (SEAC) Y que fomentó reuniones periódicas intentando crear un foro de encuentro entre ciencias sociales y naturales.

El primer proyecto interdisciplinar en el que se tuvo en cuenta la información arqueoastronó-

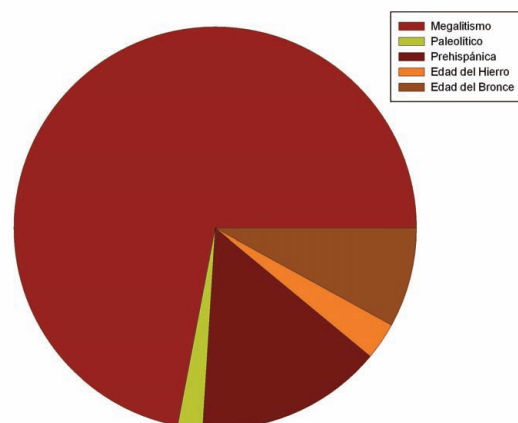


Fig. 1. Atención investigadora por periodos históricos. Basado en Cerdeño *et al.* 2006.



mica fue el llevado a cabo por los profesores Almagro Gorbea y Gran-Aymerich (Almagro-Gorbea y Gran-Aymerich 1991, Armentia *et al.* 1993) en el yacimiento localizado en Bibracte, dentro de la Borgoña francesa. No fue hasta el año 1993 cuando en España no aparece un grupo de investigación propiamente español, liderado por Belmonte (Belmonte *et al.* 1993) y radicado en Canarias.

A partir del cambio de siglo, empieza la diversificación cultural y temporal en los diferentes estudios y comienza a aparecer en los planes de estudio de diversas universidades, elemento que sin duda será el primer paso para un futuro asentamiento de la Arqueoastronomía como disciplina en España. Estas universidades son la Universidad Complutense de Madrid, la Universidad de La Laguna de Tenerife y la Universidad Internacional Menéndez Pelayo. Sin embargo, son estudios solamente asociados a cursos de posgrado y a carreras científico-técnicas sin continuación en especialidades correspondientes a las ciencias sociales, con lo que aparece de nuevo el problema del aislamiento entre las dos ciencias.

### III. UNA PROBLEMÁTICA PROPIA

Es patente la heterogeneidad de los profesionales que se dedican a Arqueoastronomía, cada especialista aporta su formación contribuyendo a un desconcierto conceptual y a una ausencia de metodología propia. Parece imposible que este hecho varíe hasta que no exista una formación específica en las universidades —los primeros pasos se han dado— españolas. Por otro lado, la desconexión existente entre Arqueología y Arqueoastronomía es una realidad y cuando se colabora se hace dentro de proyectos habitualmente multidisciplinarios en lugar de interdisciplinarios. Pero quizás lo más preocupante de todo ello sea que estos problemas, como se ha visto, se encuentran desde los primeros momentos de la disciplina. Para romper la continuidad de la problemática nos parece vital poseer una metodología propia que sea capaz de afrontar, falsar y solucionar los supuestos teóricos específicos y cumplir los objetivos que esta ciencia posee.

### IV. METODOLOGÍA

No es extraño encontrarse en la bibliografía mediciones realizadas con medios tales como brújula, clinómetro o teodolito. Estos aparatos poseen unas precisiones actualmente superadas por las estaciones totales y los receptores de Posicionamiento Global por Satélite (GPS), ello unido a los precios asequibles que presentan hoy en día estos aparatos, su versatilidad en toma de datos in situ y su portabilidad hacen de ellos una opción muy a tener en cuenta como punto de partida en instrumentación arqueoastronómica.

Con la intención de conocer la precisión de estos aparatos y su adecuación al trabajo arqueoastronómico hemos realizado una comparativa dentro del marco de dos proyectos: *Trabajos arqueológicos en el yacimiento de Los Rodiles (Cubillejo de la Sierra, Guadalajara)*, sufragado por la Consejería de Cultura de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha. Y *Aplicación de tecnologías GPS a Arqueología. ARQUEOGPS*, financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia.

La instrumentación utilizada ha sido un teodolito Wild T2, una estación total PENTAX ATS-101 y dos receptores GPS: el receptor monofrecuencia Ashtech PROMARK 2 y el receptor bifrecuencia Leica 1200. Los diferentes métodos que hemos testado los podemos dividir en métodos geodésico-astronómicos y métodos geodésicos con GPS. De forma ampliada (para un mayor detalle de los métodos geodésicos y geodésico-astronómicos utilizados consultar Anderson y Mikhail 1998 y Wolf y Brinker 1993):

#### [A] MÉTODOS GEODÉSICO-ASTRONÓMICOS:

[A1] Determinación del Azimut a partir de observaciones solares con teodolito.

[A2] Medida de ángulos horizontales con Estación Total.

[A3] Medida de ángulos horizontales con Estación Total usando medidas rápidas de ángulos.

[A4] Determinación de azimuts por medidas indirectas.

[B] MÉTODOS GEODÉSICOS CON GPS:

[B1] Posicionamiento estático relativo con receptores monofrecuencia.

[B2] RTK (Real-Time Kinematic) con receptores bifrecuencia.

[B3] Determinación de coordenadas de los puntos

[B4] Computación de la posición geodésica. Determinación del azimut entre dos puntos.

Para adecuar el estudio lo más posible a la realidad, hemos supuesto una serie de puntos que proporcionan una configuración final variable. Es decir, de esta forma podemos simular una línea de muralla, un edificio perfectamente rectangular o uno en un estado precario de conservación (Figura 2).

Como resultados de la comparativa podemos decir (Tablas 1 y 2) que los métodos estudiados son comparativamente mejores que los tradicionalmente usados, brújula y clinómetro. En cuanto a los métodos son apropiados los métodos geodésicos y astronómicos de forma combinada para los yacimientos con pocas orientaciones; mientras que los métodos basados en GPS son especialmente útiles en yacimientos con muchas orientaciones a medir. También cabe reseñar que los métodos geodésicos son inviables en lugares

donde no haya intervisibilidad, en ellos únicamente son útiles los basados en GPS. En los métodos en donde interviene algún dato astronómico: Azimut a partir de observaciones solares y radiación, es necesario añadir un tiempo extra de post-procesado de los datos. Por último, teniendo en cuenta que hemos usado instrumentación de diferente precio (en particular el receptor GPS bifrecuencia es sensiblemente más caro que el monofrecuencia) no se aprecia diferencias significativas que justifiquen el gasto para nuestros objetivos.

| MÉTODO   | AZIMUTH   | TIEMPO | PRECISIÓN | EQUIPO    | COSTE |
|----------|-----------|--------|-----------|-----------|-------|
| A1+A2    | 166º.7453 | 30 MIN | 1'        | TEODOLITO | BAJO  |
| A1+A3    | 166º.6635 | 20 MIN | 1'        | E.T.      | MEDIO |
| B1+B3+B4 | 166º.4374 | 15 MIN | CM        | GPS MONO  | BAJO  |
| B1+B2+B4 | 166º.5871 | 2 MIN  | MM        | GPS BI    | ALTO  |

Tabla 1. Métodos directos, dirección BOTA-C3.

| MÉTODO   | AZIMUTH  | TIEMPO | PRECISIÓN | EQUIPO    | COSTE |
|----------|----------|--------|-----------|-----------|-------|
| A1+A2+A4 | 86º.6947 | 30 MIN | 1'        | TEODOLITO | BAJO  |
| A1+A3+A4 | 86º.4830 | 20 MIN | 1'        | E.T.      | MEDIO |
| B1+B3+B4 | 86º.5450 | 15 MIN | CM        | GPS MONO  | BAJO  |
| B1+B2+B4 | 86º.4269 | 2 MIN  | MM        | GPS BI    | ALTO  |

Tabla 2. Métodos indirectos, dirección BOTA-C2.

V. EL CASTRO CELTIBÉRICO DE EL CEREMEÑO

La zona arqueológica de El Ceremeño (Rodríguez *et al.* 2006) se encuentra en el municipio de Herrería en la provincia de Guadalajara, y constituye uno de los ejemplos más significativos de la cultura celtibérica.

En este conjunto arqueológico se llevaron a cabo diferentes mediciones con la intención de conocer las posibles orientaciones existentes en el castro y en la necrópolis adyacente. Como aparece en el artículo anteriormente citado, se pretende conocer la orientación de los elementos más significativos del castro respecto de la línea Norte – Sur: los muros de los siglos V y VI a. C., la muralla y las direcciones de la necrópolis y del castro cercano de El Torrejón respecto del castro de El Ceremeño. Se usan métodos geodésicos para realizar las mediciones, los resultados reflejan que no existen orientaciones especiales en el castro (Figura 3), en particular respecto a los acimuts de los ortos y ocasos del Sol y de la Luna en la época de construcción del castro.

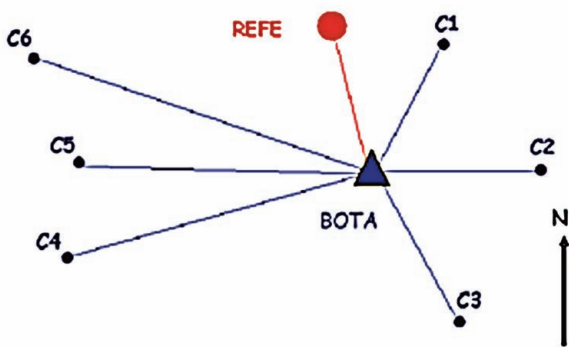


Fig. 2. Esquema de puntos para configuración final. REFE es el punto tomado como referencia para la medición de ángulos y BOTA el punto central.

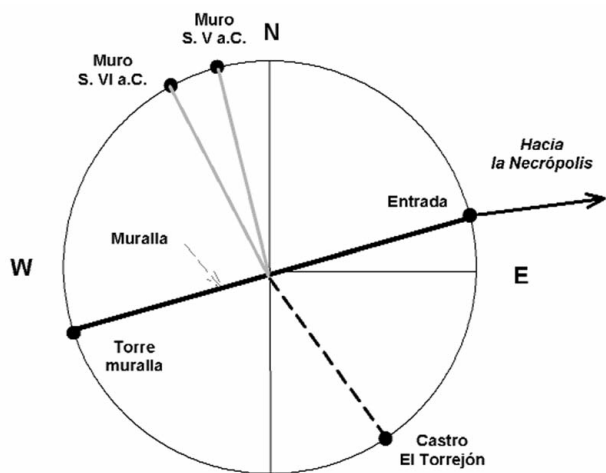


Fig. 3. Orientaciones de los elementos significativos del castro.

La misma metodología se usa para la necrópolis cercana que conjuntamente con la planimetría y una buena metodología de excavación permite discernir entre dos conjuntos de puntos correspondientes a dos épocas diferentes de enterramiento. Un post-procesado de los datos mediante métodos estadísticos refleja la orientación en ambas épocas a la parada mayor de la Luna (Figura 4).

Este es un buen ejemplo de metodología geodésica aplicada a las necesidades de problemas arqueoastronómicos. La metodología permite falsar la existencia de orientaciones en el castro y demostrar la existencia de orientaciones de carácter astronómico en el caso de la necrópolis del castro. A su vez, se trata de un caso de colaboración inter-

disciplinar entre ciencias sociales y naturales que se unen para falsar una hipótesis científica, reduciendo enormemente las posibilidades de dar por correctas posibles orientaciones casuales y sacando conclusiones culturales de los datos obtenidos por medio de un estudio arqueoastronómico.

En el futuro inmediato y aprovechando los avances realizados en el campo de las técnicas de posicionamiento global se pretende complementar las medidas de este y otros yacimientos de la misma cultura. Los objetivos son varios pero destacan la comprobación de las hipótesis que plantea este yacimiento en una muestra estadísticamente significativa y la realización de estudios topoastronómicos que además, del obvio interés científico, serán utilizados como herramienta de divulgación arqueoastronómica al incorporarse al discurso expositivo de los yacimientos.

## VI. CONCLUSIONES

Parece claro que la Arqueoastronomía, como cualquier disciplina científica, debe poseer una metodología propia que le permita falsar las hipótesis de trabajo. Creemos que nuestra propuesta mixta de métodos geodésicos y astronómicos puede ser un buen punto de arranque para conseguir una metodología adecuada a las necesidades y objetivos de los trabajos arqueoastronómicos.

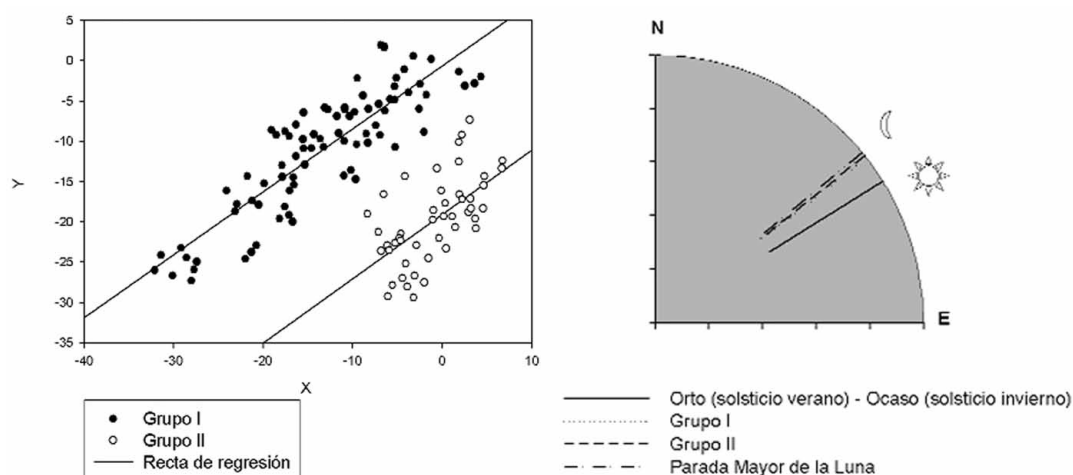


Fig. 4. A la izquierda, ajuste lineal para las tumbas de la necrópolis. A la derecha, diagrama que muestra la orientación astronómica de las tumbas.

Tras el estudio detallado de la metodología habitualmente usada por nuestro grupo de investigación queda claramente reflejada la fiabilidad y utilidad de las mismas. Obviamente, para conseguir una buena metodología —práctica y útil— la misma debe ser flexible y sensible a los parámetros de entrada que sin duda deben ser, en primera instancia, el tipo de yacimiento y el tipo de medida que nos sea necesario realizar en él. Con la descripción metodológica realizada en este trabajo poseemos una horquilla de métodos en función de los parámetros de entrada ya comentados. A pesar de su utilidad, esperamos que este sea un primer escalón hacia una metodología propia sistematizada y diseñada específicamente para resolver los problemas que aparecen durante el transcurso de un estudio arqueoastronómico.

No obstante, si queremos conseguir una metodología adecuada no podemos dejar atrás a los arqueólogos ni a la Arqueología, solamente con una colaboración plena conseguiremos resultados interpretables por las ciencias sociales que nos ayuden a desentrañar el pasado de las civilizaciones antiguas y la utilización del conocimiento astronómico que realizaban.

Pese a todo, no hay que olvidarlo, la Arqueoastronomía es una ciencia de tremenda utilidad para el conocimiento arqueológico ya que es una herramienta que permite al arqueólogo adentrarse en el registro inmaterial de las culturas antiguas, hasta ahora algo impensable.

## BIBLIOGRAFÍA

- ANDERSON, J.M. y MIKHAIL E.M. 1998: *Surveying Theory and Practice*. McGraw-Hill
- ALMAGRO-GORBEA, M.; DOMÍNGUEZ DE LA CONCHA, A. y LÓPEZ-AMBITE, F. 1990: "CanchoRoano: Un palacio orientalizador en la Península Ibérica". *Publicac. Mainz: Philipp von Zabern*.
- ALMAGRO-GORBEA, M. y GRAN-AYMERICH, J.M.J. 1991: "El Estanque Monumental de Bibracte". *Complutum Extra* 1. Madrid.
- ARMENTIA, J.E.; ALMAGRO-GORBEA, M.; GRAN AYMERICH, J.M.J. y RODRÍGUEZ, G. 1993: "Trazado y orientación topo-astronómica del Estanque Monumental de Bibracte". En J. Mangas y J. Alvar (eds.): *Homenaje a José María Blázquez*. Ediciones Clásicas. Madrid: 267-284.
- BELMONTE, J.A.; APARICIO, A. y ESTEBAN C. 1993: "A Solstitial Marker in Tenerife: The Majanos de Chacona". *Archaeoastronomy* 18: 65-68.
- 1994: "A Solstitial Marker in Tenerife: Addendum". *Archaeoastronomy* 19: 84-86.
- BELMONTE, J.A. y HOSKIN, M. 2002: "Reflejo del cosmos. Atlas de Arqueoastronomía en el Mediterráneo Antiguo". *Equipo Sirius*. Madrid.
- BELMONTE, J.A. y SANZ DE LARA, M. 2001: *El cielo de los Magos. La marea*. Santa Cruz de Tenerife.
- BELMONTE, J.A.; ESTEBAN, C.; SCHLUETER, R.; PERERA, M.A. y GONZÁLEZ, O. 1995: "Marcadores equinocciales en la Prehistoria de Canarias". *Noticias del I.A.C* 4: 8-12.
- BELMONTE, J.A.; ESTEBAN, C.; APARICIO, A.; TEJERA, A. y GONZÁLEZ, O. 1995b: "Canarian Astronomy before the Conquest: the pre-hispanic calendar". *Revista de la sociedad canaria para la ciencia* VI: 133-156.
- BELMONTE, J.A.; PERERA, M.A.; ESTEBAN, C. y TEJERA, A. 1995c: "Estudio arqueoastronómico de los grabados podomorfos de Tindaya". *Noticias del I.A.C* 1: 18-20.
- BELMONTE, J.A.; PERERA, M.A.; TEJERA, A. y ESTEBAN, C. 1996: "Arqueoastronomía en Fuerteventura: una aplicación a la montaña de Tindaya". *Revista de la academia canaria de Ciencias* VII (2-3-4): 9-22.
- BELMONTE, J.A. 2000: *Arqueoastronomía Hispánica. Prácticas astronómicas en la Prehistoria de la Península Ibérica y los archipiélagos balear y canario*. Equipo Sirius, 2ª ed. Madrid.
- CERDEÑO, M.<sup>a</sup> L., RODRÍGUEZ, G. y FOLGUEIRA, M. 2001-2002: "El paisaje funerario de la cultura celtibérica". *Anales de Prehistoria y Arqueología* 17-18: 177- 185.
- CERDEÑO, M.<sup>a</sup> L.; RODRIGUEZ, G. y HERNANDEZ, M.<sup>a</sup> C. 2004: "Novedades culturales y metodológicas en la necrópolis de Herrería (Guadalajara)". *Publicaciones del Museo Arqueológico Nacional*: 43-62.
- CERDEÑO, M.<sup>a</sup> L.; RODRIGUEZ, G.; MOYA, P. R.; Ibarra, A.; Herrero, S. 2006: "Los estudios de Arqueoastronomía en España: Estado de la cuestión". *Trabajos de Prehistoria* 63, nº2: 13-34.
- ESTEBAN, C. 2003: "La Arqueoastronomía en España". *Anuario del Observatorio Astronómico*. Instituto Geográfico Nacional 52: 309-322.
- GÓMEZ, A y HOSKIN, M. 2000: "Studies in Iberian archaeoastronomy: (7) orientations of megalithic tombs of Huelva". *Archaeoastronomy* 25: 41-50.
- HOSKIN, M. 2002: "Studies in Iberia Archaeoastronomy: (9) an overview". *Archaeoastronomy* 27: 75-82.
- HOSKIN, M.; ALLAN, E. y GRALEWSKI, R. 1994: "Studies in Iberian Archaeoastronomy: (1) Orientations of the Megalithic Sepulchres of Almería, Granada and Malaga". *Archaeoastronomy* 19: 55-82.
- 1995a: "Studies in Iberian Archaeoastronomy: (2) Orientations of the Tholos Tombs of Almería". *Archaeoastronomy* 20: 29-39.
- 1995b: "Studies in Iberian Archaeoastronomy: (3) Customs and Motives in Andalucía". *Archaeoastronomy* 20: 41-48.
- HOSKIN, M. y PALOMO, T. 1998: "Studies in Iberian Archaeoastronomy (4): The orientations of the megalithic tombs of eastern Catalunya". *Archaeoastronomy* 29: 63-79.
- HOSKIN, M. y SAUCH, C. 1999: "Studies in Iberian archaeoastronomy: (6) orientations of megalithic tombs of Badajoz and Neighbouring Portugal". *Archaeoastronomy* 24: 35-40.
- HOSKIN, M.; MERCADAL, O.; ALIAGA, S.; ZALDUA, L.M.; RODRÍGUEZ, A.A.; SOARES, N.M.; LÓPEZ PLAZA, M.S.; DE SENNA-MARTÍNEZ, J.C.; HENRIQUES, F.; BELMONTE, J.A.; LAGO, M.; ALBERGARIA, J.; CALADO, M. y MARTINS, A. 1998: "Studies in Iberian archaeoastronomy: (5) orientations of megalithic tombs in Northern and Western Iberian". *Archaeoastronomy* 23: 29-87.
- HOSKIN, M.; QUINTÁ, J.M.; TIRAPICOS, L.; VERA, J.C.; MAS, M.; CRUZ-AUÑON, R.; GARCÍA SANJUÁN, L.; BELMONTE, J.A.; PIMENTA, F. y MARTÍN DE LA CRUZ, J.C. 2001: "Studies in Iberian archaeoastronomy: (8) orientations of megalithic and tholos tombs of Portugal and Southwest Spain". *Archaeoastronomy* 26: 45-64.
- JASCHEK, C. (ed.) 1993: *European Meeting on Archaeoastronomy & Ethnoastronomy. Proceedings of the SEAC foundational conference (Estrasburgo 1992)*. L'Observatoire Astronomique de Strasbourg. Strasbourg.
- JASCHEK, C. y ATRIO, F. (eds.) 1997: *Actas del IV congreso de la SEAC "Astronomía en la cultura" (Salamanca 1996)*. Universidad de Salamanca. Salamanca.
- LOCKYER, J.N. 1909: "Stonehenge and Other British Stone Mo-



- numents Astronomically Considered". Macmillan and Co., Limited. London.
- RODRIGUEZ, G.; CERDEÑO, M.<sup>a</sup> L.; FOLGUEIRA, M. y SAGARDOY, T. 2006: "Observaciones topoastronómicas en la Zona Arqueológica de El Ceremeño (Herrería, Guadalajara)". *Complutum* 17: 133-143.
- STUKELEY, W. 1740: *Stonehenge, A Temple restor'd to the British Druids*. London.
- THOM, A. 1954: "The solar observatories of Megalithic Man". *Journal of the British Astronomical Association* 64: 396-404.
- 1967: *Megalithic sites in Britain*. Oxford University Press. Oxford.
- THOM, A. y THOM, A.S. 1980a: "A New Study of All Megalithic Lunar Lines". *Archaeoastronomy* 2: 78-89.
- 1980b: "Astronomical Foresight Used by Megalithic Man". *Archaeoastronomy* 2: 90-94.
- 1983: "Observation of the Moon in Megalithic Times". *Archaeoastronomy* 5: 57-66.
- 1984: "Two Major Megalithic Obsevatories in Scotland". *Archaeoastronomy* 7: 129-148.
- WOLF, P. R. y BRINKER R.C. 1993: *Elementary Surveying*. HarperCollins College Publishers. New York.
- WOOD, J. 1747: *Choir Gaure, Vulgarly called Stonehenge, on Salisbury Plain*. Oxford.

**A6.5. "Astrokeltoi: an archaeoastronomical project in the Celtiberian area"**

# Astrokeltoi: an archaeoastronomical project in the Celtiberian area

Javier Mejuto<sup>1</sup>, Maria Luisa Cerdeno<sup>2</sup>, Gracia Rodríguez Caderot<sup>3</sup>  
and César Rodríguez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Geofísica y Meteorología  
Facultad de Ciencias Físicas, Universidad Complutense de Madrid,  
Ciudad Universitaria s/n, 28040 Madrid, Spain  
email: jmejugo@fis.ucm.es

<sup>2</sup>Departamento de Prehistoria,  
Facultad de Geografía e Historia, Universidad Complutense de Madrid,  
Calle Profesor Aranguren, 28040 Madrid, Spain  
email: mluisac@ghis.ucm.es

<sup>3</sup>Departamento de Geodesia y Astronomía  
Facultad de Ciencias Matemáticas, Universidad Complutense de Madrid,  
Plaza de Ciencias, 3, 28040 Madrid, Spain  
email: grc@mat.ucm.es

**Abstract.** We present an archaeoastronomical project as a part of a cultural heritage project on Celtiberian cultures. Following a study on the Iron Age's sky and its relationship with Celtiberian cultures, we present the Celtiberian Archaeological Route. This information is presented to visitors in relation to the landscape and the archaeological site. The ASTROKELTOI project attempts to link the archaeoastronomical popularisation to its cultural and historical frameworks.

**Keywords.** archaeoastronomy, outreach, tourism, Iron Age

---

## 1. Introduction

This project was born out of our interest for a better knowledge of the relationship that the cultures of Iberian Peninsula had with the sky, especially during the Iron Age. ASTROKELTOI is not just a scientific project, rather, the aim of this project is to link archaeoastronomy, scientific divulgation and society. For this reason, we use an operating cultural route, the *Celtiberian Route*.

## 2. Celtiberia

In some classical texts, Celtiberia appears described as a mountainous region delimited imprecisely by the Anas and Betis rivers, while other texts are more precise and help us to trace the approximate boundaries from the middle part of the Ebro valley to the source of the Duero River. We will refer here to Celtiberia just as the Romans did in the second century BCE, namely the land occupied by the Arevacos, Pelendones, Lusones, Belos and Titos pre-roman peoples (Burillo 1986, 1993, 1998).





**Figure 1.** Iberian Peninsula, Celtiberia and Celtiberian tribes near the 2nd century BCE (Centro de Estudios Celtibéricos de Segeda - F. Burillo).

### 3. The Celtiberian cultures

As usual, the name of celtiberians was given by other cultures in antiquity. It seems that the name *celtiberians* appears for first time in the Greek *Annales of Fabius Pictor* (Pelegrín 2005) judging by the similarities between the Celts who invaded Italy and the “Iberian Celts”. We can find many references to Celtiberian mercenaries coming from mainland in the events which took place during the third century BCE. The word Celtiberian has other meanings at this time, as it may refer to Spanish Celts or Iberian Celts, as opposite to Gauls, for example. Still, with the Roman conquest, we have another meaning involving several tribes: Arevacos, Pelendones, Lusones, Belos and Titos. There were frequent alliances and intertribal wars, both motivated for the same reasons: invaders, self-interest and natural resources. We can say without doubt that celtiberians had neither state nor tribal state, their society evolved into state-cities (third century BCE), as the Romans found. We also know that the cultural process of these pre-Roman peoples was much older; current studies point to the seventh century BCE as the date when their cultural features were completely formed.

## 4. The Celtiberian route

This cultural route was developed by Francisco Burillo, professor at the Prehistory Department of the University of Zaragoza, linking the *Archaeological Heritage* management with the development of an economically depressed area. This initiative belongs to the *European framework of cultural routes* and the *Celtiberian Heritage* is arguing for its integration within the *World Heritage* list. This archaeological route has three basic objectives: (1) to develop an economically depressed area, (2) to spread heritage and scientific knowledge, and (3) to integrate society, science and heritage conservation.

**Table 1.** Alignments of the necropolis of the Celtiberian village *El Ceremeño* to major lunar standstills (from García Caderot et al. 2006).

|                                 | Azimuth | Declination |
|---------------------------------|---------|-------------|
| Major lunar standstill rise     | 50°5    | 28°7        |
| Major lunar standstill set      | 309°5   | 28°7        |
| Necropolis alignment (Group I)  | 51°99   | 27°7        |
| Necropolis alignment (Group II) | 51°38   | 28°16       |

The Celtiberian route covers some 40,000 km<sup>2</sup> with a total population of 284,000 inhabitants. The population density is thus 7 inhabitants per km<sup>2</sup> which is typical of a desert. Covering 8% of the total Spanish landscape, the historical region of Celtiberia is occupied by only 0.71% of the population of the country. Needless to say, this part of the country is one of the most depopulated areas. Its two main cities, Soria and Teruel, are just above the city criteria limit with about 30,000 inhabitants each. The remaining 77.81% of total population is distributed in 755 little settled areas. In addition, the average age of the population in 40% of this area is larger than 50 years.

## 5. Cultural heritage

To give a better idea of the cultural heritage which covers the *Celtiberian route*, we provide here further details on this area. Presently the historical region of Celtiberia covers several Autonomous Communities. The first one is the closer to the Ebro river, Aragón. There are two important cities, Bīlbilis Itálica (Martín Bueno 1975, 1982; Burillo & Ostaldé 1984) where the Classical poet Marcus Valerio Marcial was born, and Segeda (Burillo & Ostaldé 1984) one of the most relevant Celtiberian city in classical texts. Further to the South, we find the Celtiberian rural village of Alto Chacón and anthropomorphous figures in Celtiberian sanctuary of Peñalba.

In the Castilla-León region, from North to South, we find the roman city of Clunia, with large Roman thermal baths, and a theatre for an audience of 10,000. The famous Numancia Celtiberian city (Jimeno et al. 2004), where the Roman army leaded by Publius Cornelius Scipio defeated the Celtiberians. The Uxama Celtiberian hill fort played a rôle in helping Numancia to fight against the Romans, and was destroyed by Cneo Pompeyo Magno in 72 BCE. Another important place in this region is Tiermes, one of the most relevant cities in the Roman conquest, and whose existence has been assessed for 35 centuries. It was conquered by the Romans in 98 BCE.

La Rioja is another region of Celtiberia. Here we have the Celtiberian-roman city of Contrebia Leucade (Hernández Vera 2003) with a spectacular settlement and the important necropolis of El Castillo. In Castilla-La Mancha we find the Celtiberian city of Segóbriga (Abascal Palazón et al. 2008) named the *Celtiberia's head* by Pliny and located in the southern extreme of Celtiberia. In this province we find one of the most important mines in Antiquity, with several massive veins of iron, copper and lead. In the province of Guadalajara we find the best examples of small rural settlements, far from big cities of the hill fort type. Our project includes three important Celtiberian settlements, very close to each other: (1) Castilviejo hill fort, with very impressive defensive structures; (2) El Ceremeño village (Cerdeño and Juez 2002), with an interesting habitation pattern and relevant necropolis where researchers of our group found a tomb alignment to the major lunar standstill (see García Caderot et al. 2006, and Table 1); and (3) Los Rodiles (Cerdeño et al. 2008), another hill fort whose excavation has recently been started.

## 6. ASTROKELTOI

The point we address next is what archaeoastronomy can do in this context. Despite being a new scientific approach, archaeoastronomy is unknown for most of the society, even though it allows us to get information about the relationships between ancient cultures and the sky, and in this way to get closer to their thinking. This new aspect, added to archaeological projects, can be popularised in addition to other cultural aspects.

Probably the best way to do this is linking archaeoastronomy and archaeological sites, by providing both archaeological and archaeoastronomical information to the visitors at the sites. Clearly the best way to understand science is just to experience it in its proper context. Obviously, we cannot deny that archaeoastronomy may interest many people and we can use this to bring more tourism, increasing the economy of these depressed areas, and teaching science and explaining archaeoastronomy at the same time.

An example of a successful relationship between archaeoastronomy, archaeology and tourism is the Kukulkán pyramid in the Chichén Itzá Mayan site. Every Spring equinox many people go to this site to see the pattern of light and shadows marking the movement of Kukulk'an as a solar projection with a snake shape. This effect is used by tourist guides to explain cosmology and symbolism, a difficult thing to do just with archaeology.

In the ASTROKELTOI project we will provide local information for each archaeological site. We will focus on the topoastronomical horizon that the ancient tribes could see from their villages, cities or necropolis. The first step will be the systematic data acquisition based in geodesic methodology in order to find possible alignments related to astronomical events. In this way topography, structures and necropolis will be better studied. Obviously this will be done in close collaboration with the local archaeologists to get a better understanding of the excavation process and the site interpretation. On the other hand, a theoretical work will also be done in order to understand Celtiberian cosmology, immaterial world, and their religious world.

Finally we will get a complete collection of data of the Celtiberian region, separated by historical epochs with results that will be added to the information that visitors will receive. These data will be put in a Geographical Information System and a public web catalogue will be presented for further investigations.

In the archaeological sites, the basic astronomical information will be explained and solar and planetary annual movements will be explained on transparent media in order to see both the real and the modelled ancient sky. Multimedia information will be displayed to connect visitors to our ancestors' world and their vision of the sky.

Astronomical activities will be proposed, especially on astronomically important days, such as during eclipses and solstices and equinoxes. Also educational workshops on ancient astronomical instruments and naked eye observational techniques will be organised. In short, a group of activities to get astronomy, archaeology and archaeoastronomy closer to society.

ASTROKELTOI is an archaeoastronomical project within a scientific-social project. An approach to get a more complete knowledge about the Iron Age peoples in the Iberian Peninsula by integrating archaeological and archaeoastronomical data. An attempt to bridge the social and natural sciences gap, finding new solutions to explain our complex world.

## Acknowledgements

ASTROKELTOI will be carried out within the framework of two projects: *Utilización de las técnicas de posicionamiento GPS y diseño de herramientas gráficas para el estudio de enclaves arqueológicos* (AYA2008-01214-E/ESP, Gracia Rodríguez Caderot, UCM)

and *Segeda y Celtiberia septentrional: investigación científica, desarrollo rural sostenible y nuevas tecnologías* (HAR 2008-04118, Francisco Burillo, Universidad de Zaragoza).

## References

- Abascal Palazón, J.M. et al. 2008, *Segóbriga 2007: resumen de las intervenciones arqueológicas* (Cuenca: Consorcio del Parque Arqueológico de Segóbriga, Tabularium)
- Burillo, F. 1986, in *Estudios en Homenaje al Dr. Antonio Beltrán Martínez* (Zaragoza: Universidad de Zaragoza), p. 529
- Burillo, F. 1993, in *Leyenda y arqueología de las ciudades prerromanas de la península ibérica II*, p. 95
- Burillo, F. 1998, *Los Celtíberos. Etnias y estados* (Barcelona: Editorial Crítica)
- Burillo, F. & Ostalé, M. 1984, *Kalathos* 3/4, 287
- Cerdeño, M.L., Hernández, J. 2007, in *Gestión y desarrollo V. Simposio sobre Celtíberos*, Francisco Burillo Mozota (ed) (Mara: Centro de Estudios Celtibéricos de Segeda), p. 237
- Cerdeño, M.L. & Juez, P. 2003, *El castro celtibérico de El Ceremeño (Herrería, Guadalajara)* (Teruel: Seminario de Arqueología y Etnología Turolenses / Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha)
- Cerdeño, M.L., Rodríguez Caderot, G., Moya, P.R., Ibarra, A. & Herrero, S. 2006, *Trabajos de Prehistoria*, 63(2), 13
- Cerdeño, M.L., Sagardoy, T., Chordá, M. & Gamo, E. 2008, *Complutum*, 19, 173
- Hernández Vera, J.A. 2003, *Salduie: Estudios de prehistoria y arqueología*, 3, 61
- Jimeno, A., De La Torre, J.I., Berzosa, R. & Martínez, J. (eds) 2004, *Arqueología en Castilla y León, Memorias*, 12 (Valladolid: Junta de Castilla y León)
- Lorrio, A. 1997, *Los Celtíberos* (Madrid: Universidad Complutense de Madrid)
- Martín Bueno, M.A. 1975, in *Crónicas del XIII Congreso Nacional de Arqueología* (Zaragoza: Universidad de Zaragoza), p. 701
- Martín Bueno, M.A. 1982, *Bajo Aragón Prehistoria*, 4, 96
- Matías Cruz, J. 2008, *Nonnullus*, 2, 11
- Pelegrián J. 2005, *Gerión*, 23, 115
- Rodríguez Caderot, G., Cerdeño, M.L., Folgueira, M. & Sagardoy, T. 2006, *Complutum*, 17, 133
- Salinas de Frías, M. 1996, *Conquista y romanización de Celtiberia* (Salamanca: Ediciones Universidad)

**A6.6. "Trabajos geodésicos para la documentación y georreferenciación precisa de yacimientos arqueológicos"**

# Trabajos geodésicos para la documentación y georreferenciación precisa de yacimientos arqueológicos.

## *Geodetic works for the documentation and precise georeferentation of the archaeological sites*

Gracia Rodríguez-Caderot<sup>(1)</sup> Marta Folgueira<sup>(2)</sup> M. Luisa Cerdeño<sup>(2)</sup> Esther Pascual<sup>(3)</sup> Javier Mejuto<sup>(4)</sup>, César Rodríguez Gordillo<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Sec. Dptal. Astronomía y Geodesia. Fac. CC. Matemáticas. Universidad Complutense de Madrid, [grc@mat.ucm.es](mailto:grc@mat.ucm.es)

<sup>(2)</sup> Instituto de Astronomía y Geodesia. (UCM-CSIC). [martafl@mat.ucm.es](mailto:martafl@mat.ucm.es)

<sup>(2)</sup> Dpto Prehistoria. Fac. Geografía e Historia. Universidad Complutense de Madrid, [mluisac@ghis.ucm.es](mailto:mluisac@ghis.ucm.es)

<sup>(3)</sup> Dpto. de Infraestructuras, Sistemas Aeroespaciales y Aeropuertos. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Aeronáuticos. Universidad Politécnica de Madrid, [esther.pascual@upm.es](mailto:esther.pascual@upm.es)

<sup>(4)</sup> Dpto. Física de la Tierra, Astronomía y Astrofísica I. Fac. CC. Físicas. Universidad Complutense de Madrid, [jmejuton@yahoo.es](mailto:jmejuton@yahoo.es)

### SUMMARY

*This paper shows survey works undertaken in the frame of the following Projects: "Archaeological operation at the site Los Rodiles (Cubillejo de la Sierra, Guadalajara)" sponsored by Consejería de Cultura de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha, started in 2006 and continues annually, and "Application of the technologies GPS in archaeological works. ARQUEOGPS" that is a line derived from the project of research of the National Program of the Space with title "Services of Positioning and Navigation based on Networks of Permanent Stations GNSS with applications in real time (RTK)". The principal aim consists of applying the technologies of positioning for satellites (GNSS: GPS and GLONASS) to the field of the Archaeology, in order to obtain a methodology of work that allows the archaeologist to fulfil the rapid and precise reference of the deposits in study.*

## 1. INTRODUCCIÓN

La disciplina arqueológica se ha convertido en los últimos años en una ciencia interdisciplinar que necesita la información proporcionada por especialistas en otras materias para elaborar una sólida base empírica sobre la que sustentar sus hipótesis de trabajo.

Una de las herramientas más importantes a la hora de comenzar los trabajos arqueológicos en yacimientos es contar con una representación fiable de los mismos. Esta representación puede ser de varios tipos, una cartografía precisa que incluya las estructuras visibles, una planimetría que permita establecer un mapa de curvas de nivel, prospecciones geofísicas, fotografías aéreas, etc. Las nuevas técnicas de posicionamiento por satélite (GPS) permiten actualmente realizar estos trabajos de una manera relativamente rápida y con la suficiente precisión requerida en este tipo de trabajos, (Amado Reino (1997), Estrada-Belli (1997), Mehrer (2006), Wheatley (2002), Crespi (2005)).

En esta comunicación se presentan los trabajos geodésicos realizados en dos yacimientos arqueológicos. Uno de ellos es el

yacimiento de Los Rodiles en la provincia de Guadalajara. Los trabajos de campo se llevaron a cabo en dos etapas; en primer lugar, antes del inicio de las excavaciones, cuando era preciso organizar las mismas en función del área a excavar, planificar las áreas de excavación, obtener la georreferenciación de puntos escogidos del yacimiento y efectuar una cuadrícula fiable del yacimiento que permitiera una excavación ordenada, además de situar con precisión en la cartografía los hallazgos. Posteriormente, una vez iniciadas las excavaciones sistemáticas, al irse descubriendo ciertas estructuras, en este caso parte de una muralla, se hizo necesario efectuar una microtopografía de los restos analizados para elaborar un mapa detallado de las estructuras encontradas y su ubicación respecto al yacimiento.

El otro yacimiento es la cueva de El Reguerillo en Patones en la provincia de Madrid, en este caso los arqueólogos estaban interesados en realizar un enlace de los puntos de una galería de la cueva con puntos del exterior, situados encima de la cueva, para

poder relacionar estructuras del interior de la cueva con características geológicas del entorno exterior.

## 2. TRABAJOS DE CAMPO EN LOS RODILES

El yacimiento, Cerdeño et al., (2007), se encuentra en la provincia de Guadalajara (Figura 1). Es un gran poblado fortificado de época celtibérica tardía fechado que ocupa un área aproximada de 5 hectáreas sobre el extremo oeste de una gran loma y por su posición, tamaño y cronología pudo actuar como núcleo central de la región circundante. El proyecto de excavación y estudio de este enclave se ha iniciado en el año 2007, pero ya se ha podido constatar la importancia que este oppidum pudo tener por su tamaño, como sobre todo, por el potente sistema defensivo que lo rodea. Se han identificado tres fortificaciones o recintos de muralla sucesivos, teniendo una especial relevancia el primero de ellos que delimita la acrópolis o parte superior del poblado, donde se disponían la mayor parte de las viviendas. Esta primera muralla se conserva en muy buen estado, quizás por la protección que ha ejercido el derrumbe que la cubría, y destaca por su monumentalidad ya que está fabricada con sillares ciclópeos, conserva más de cuatro metros de altura en algunos puntos y once metros de anchura en el extremo sureste, donde se remata una torre (Figura 2).

En el momento de realizar estos trabajos, durante el verano de 2006, se encontraba en la fase de prospección previa para elaborar un informe del potencial interés de los trabajos arqueológicos previstos en el yacimiento. Por tanto los primeros trabajos iban dirigidos a elaborar una georreferenciación precisa de puntos que enmarcaban el área total del yacimiento, lo cual permitió determinar el área total de la excavación. Debido a que se tenía interés en comenzar las excavaciones en un área reducida del yacimiento, donde se habían realizado prospecciones geofísicas que parecían revelar la existencia de restos arqueológicos, se densificó el área seleccionada georreferenciando nuevos puntos.

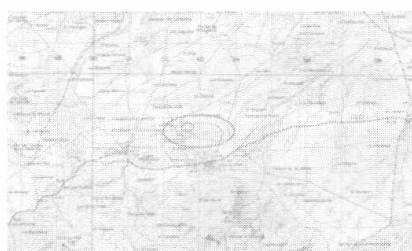


Figura 1 – Situación del yacimiento.



Figura 2 – Vista aérea de la muralla

Una vez determinadas las coordenadas de estos puntos se llevó a cabo una cuadrícula de la excavación total y de la zona de prospección con el fin de tener georreferenciadas las cuadrículas para que en las posteriores excavaciones se tuviera una rápida y precisa cartografía de los vestigios arqueológicos encontrados, lo que permitirá realizar los trabajos de campo de una manera sistemática y ordenada.

Era de interés comenzar los trabajos excavando una estructura visible de gran altura que se suponía formaba parte de un recinto amurallado. Por tanto, en la zona prospectada, se trazó, mediante el método de stop and go, un mapa de las curvas de nivel para dar valores cuantitativos de los desniveles existentes, que se muestran en la Figura 3. Así el arqueólogo dispone de un modelo digital del terreno que le permite planificar la excavación en función de las características topográficas de éste.

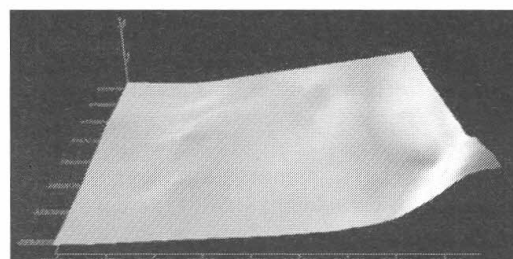
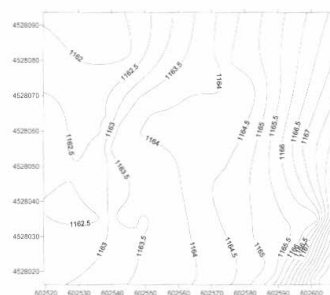
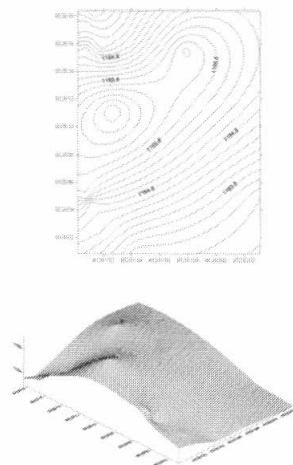


Figura 3 – Mapa de curvas de nivel e imagen 3D de la zona de la muralla.

En el verano de 2007, una vez comenzados los trabajos de excavación, se confirmó la



existencia de la muralla y se efectuaron los trabajos de limpieza de la estructura. Para los arqueólogos era de gran interés realizar además una precisa representación de la muralla en el ámbito del yacimiento, proporcionándole información auxiliar, así como determinar un modelo digital del terreno que permitiera determinar los desniveles existentes entre la muralla y su entorno. Los trabajos realizados con la técnica de posicionamiento cinemático se muestran en las figura 3.



**Figura 3 – Mapas de curvas de nivel y representación en 3D de la muralla**

### 3. TRABAJOS DE CAMPO EN LA CUEVA DE EL REGUERILLO

El empleo del GPS ha experimentado un ascenso considerable en la última década gracias en parte al desarrollo de algoritmos que permiten obtener posiciones en tiempo real con alta precisión. El método más común empleado es el cinemático en tiempo real (RTK, Real Time Kinematic). Los mayores inconvenientes de este método radican en el hecho de es necesario disponer de una estación de referencia en un punto de la red geodésica local durante la observación lo que conlleva una gran inversión en equipos, así como la necesidad de recibir de manera continuada a través de un radio enlace las correcciones desde el receptor de referencia que en condiciones óptimas tendrá un alcance máximo de unas decenas de kilómetros.

Una alternativa al RTK clásico y que cada día cobra más auge son las redes RTK, Hu (2002), Rizos (2003), Wang (2005), basadas en la disposición de estaciones de carácter permanente constituyendo una red de carácter regional, lo que supone toda una serie de ventajas: i) empleo de un marco de referencia, ii) modelización precisa de las fuentes de error, iii) ampliación del área de trabajo, iv) el usuario convierte su receptor de referencia en un receptor móvil. Con la solución de red RTK se aumenta la distancia o longitud de las líneas de base, por tanto los equipos móviles deberán

incorporar un sistema de comunicación que les conecta a la estación de control de la red para recibir las correcciones diferenciales.

La aplicación de estas técnicas permite crear una forma de adquisición de datos de los yacimientos arqueológicos eficiente (rápida y de bajo coste), Crespi (2005), Rodríguez-Caderot (2006).

Toda esta metodología se aplica en el campo de la Arqueología para georreferenciar las áreas de interés lo que hace posible la creación de bases de datos o Sistemas de Información Geográfica que facilitan la obtención de una óptima representación de éstas.

Los resultados obtenidos son de rápida aplicación por los grupos de investigación arqueológica como metodología de adquisición de datos basados en las redes RTK lo cual impulsará a los arqueólogos a aprender las nuevas técnicas de posicionamiento con las que, con total seguridad, puede mejorar y estandarizar los datos que recoge, gestiona y analiza.

El estudio que se está llevando a cabo, dentro del proyecto “Aplicación de las técnicas GPS en trabajos arqueológicos. ARQUEOGPS”, financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia, consta de las siguientes fases:

- Realización de una prospección de los yacimientos de la Comunidad de Madrid en que se van a realizar las medidas.
- Elección de yacimientos de diferentes características: situados en entornos urbanos que puedan presentar obstrucciones importantes, situados en áreas despejadas, yacimientos que presenten restos que sean visibles, yacimientos con restos semiocultos, etc.
- Realización de las medidas de observación GPS en los yacimientos elegidos utilizando el instrumental geodésico disponible por el equipo (receptores bifrecuencia de alto coste y monofrecuencia de bajo coste) para los que se les acoplara un receptor que sea capaz de recibir las correcciones proporcionadas por la red RTK.
- Procesamiento de los datos de campo.
- Análisis de los resultados obtenidos con la diferente instrumentación utilizada.
- Representación bidimensional/tridimensional de los yacimientos georreferenciados.
- Diseño de una base de datos que permita la implementación de la información adquirida.



Se han llevado a cabo observaciones preliminares en el área arqueológica de la cueva de El Reguerillo en Patones (Madrid), Figura 4, utilizando la red de estaciones GPS permanentes pertenecientes al proyecto IBEREF de la Comunidad de Madrid, que ha establecido y gestiona la empresa Leica y que nació con la intención de ser la primera red RTK a escala nacional. En este caso se pretende realizar una micro-topografía precisa del exterior de una cueva, actualmente en trabajos de excavación, lo que permitirá hacer el enlace de puntos de una galería de la cueva con los puntos externos para poder relacionar estructuras del interior de la cueva con características geológicas del entorno exterior.

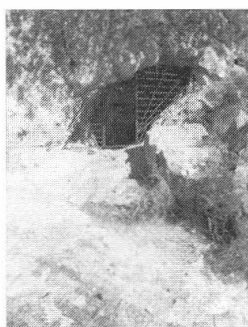


Figura 4 – Entrada a la cueva de El Reguerillo

Los datos obtenidos en las campañas preliminares que se han efectuado están en el momento actual en fase de proceso, pero los primeros resultados parecen demostrar la efectividad de este tipo de metodologías en los trabajos arqueológicos (Figura 5).



Figura 5 – Puntos de control y micro-topografía del exterior de la cueva del Reguerillo superpuesta a la planta de la cueva

#### Agradecimientos:

Este trabajo se ha realizado dentro de los siguientes proyectos: “Intervención arqueológica en el yacimiento de Los Rodiles (Cubillejo de la Sierra, Guadalajara)” (274/2006). Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha y “Aplicación de las técnicas-GPS en trabajos arqueológicos. ARQUEOGPS”

(ESP2006-28465-E) Ministerio de Educación y Ciencia.

#### 4. REFERENCIAS

- Amado Reino, X. (1997): “La aplicación del GPS a la Arqueología”. *Trabajos de Prehistoria*. 54 (1), 155-165.
- Cerdeño, M. L., Sagardoy, T., Chordá, M. (2007): “Cubillejo de la Sierra (Guadalajara) Oppidum de Los Rodiles y ermita de la Vega informe campaña 2006 y solicitud intervención 2007”. *Informe remitido a la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha. Consejería de Cultura*
- Crespi, M., De Vendictis, U., Fabiani, L., Luzietti, A., Mazzoni, A. (2005): “The archaeological information system of the underground or Rome: A challenging proposal for the next future”. *CIPA 2005 XX international Symposium*. 26 september-1 october, 2005, Torino. Italia.
- Estrada-Belli, F. (1997): “GPS and GIS as aids for mapping archaeological sites”. *Archaeological Computing Newsletter*. 47, 5-10.
- Hu, G.R., Khoo, V.H.S., Gog, P.C., Law, C.L. (2002): “Internet based GPS VRS RTK Positioning with a Multiple Referente Station Network”. *Journal of Global Positioning Systems*. Vol. 1. No. 2, 113-120.
- Mehrer, M.W., Wescott, K.L. (2006): “GIS and Archaeological Site Location Modelling”. *Taylor & Francis*.
- Rizos, C., & Han, S. (2003): “Referente station network based RTK systems- Concepts & progress”. *Wuhan University Journal of Nature Sciences*, 8, 2B, 566-574.
- Rodríguez-Caderot, G., Cerdeño, M.L., Folgueira, T. Sagardoy (2006): “Observaciones topo-astronómicas en la zona arqueológica de El Ceremeño (Herrería, Guadalajara)”. *COMPLUTUM*, 17, 133-146.
- Wang, J., Lee, H.K., Lee, Y.J., Musa, T. & Rizos, C. (2005): “Online stochastic modelling for network-based GPS real-time kinematic positioning”. *Journal of GPS*, 4, 1-2, 113-119.
- Wheatley, D., Gillings, M. (2002): “Spatial Technology and Archaeology”. *Taylor & Francis*.